



كلية الطب
والصيدلة - مراكش
FACULTÉ DE MÉDECINE
ET DE PHARMACIE - MARRAKECH

Année 2026

Thèse N° 21

IRM des lésions musculaires du membre inférieur chez les footballeurs de haut niveau

THÈSE

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 13/01/2026

PAR

Mlle. JOUD Oumaima

Née le 24 Septembre 2000 à DAKHLA

POUR L'OBTENTION DU DOCTORAT EN MÉDECINE

MOTS-CLÉS :

IRM – Lésions musculaires – Membre inférieur – Footballeurs de haut niveau
– Classification IRM

JURY

Mr.	B. CHAGAR Professeur de Chirurgie orthopédique et traumatologique
Mme.	M. OUALI IDRISI Professeur de radiologie
Mme.	N. CHERIF IDRISI EL GANOUNI Professeur de radiologie
Mr.	R. CHAFIK Professeur de chirurgie orthopédique et traumatologie
Mr.	B. BOUTAKIOUTE Professeur de radiologie

PRÉSIDENT

RAPPORTEUR

JUGES



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُ لَا إِلَهَ إِلَّا هُوَ الْحَيُّ الْقَيُّومُ

لَا تَأْخُذُهُ سِنَةٌ وَلَا نَوْمٌ

لَهُ مَا فِي السَّمَوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ

مَنْ ذَا الَّذِي يَشْفَعُ عِنْدَهُ إِلَّا بِإِذْنِهِ

يَعْلَمُ مَا بَيْنَ أَيْدِيهِمْ وَمَا خَلْفَهُمْ

وَلَا يُحِيطُونَ بِشَيْءٍ مِنْ عِلْمِهِ إِلَّا بِمَا شَاءَ

وَسِعَ كُرْسِيُّهُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ

وَلَا يَئُودُهُ حِفْظُهُمَا وَهُوَ الْعَلِيُّ الْعَظِيمُ ﴿٢٥٦﴾



وَقُلْ لِّعِبَادِي
قُلُوبًا



Serment d'Hippocrate

Au moment d'être admis à devenir membre de la profession médicale, je m'engage solennellement à consacrer ma vie au service de l'humanité.

*Je traiterai mes maîtres avec le respect et la reconnaissance
qui leur sont dus.*

Je pratiquerai ma profession avec conscience et dignité. La santé de mes malades sera mon premier but.

Je ne trahirai pas les secrets qui me seront confiés.

Je maintiendrai par tous les moyens en mon pouvoir l'honneur et les nobles traditions de la profession médicale.

Les médecins seront mes frères.

Aucune considération de religion, de nationalité, de race, aucune considération politique et sociale, ne s'interposera entre mon devoir et mon patient.

Je maintiendrai strictement le respect de la vie humaine dès sa conception. Même sous la menace, je n'utiliserai pas mes connaissances médicales d'une façon contraire aux lois de l'humanité.

Je m'y engage librement et sur mon honneur.

Déclaration Genève, 1948





LISTE DES PROFESSEURS



UNIVERSITE CADI AYYAD
FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE
MARRAKECH

Doyens Honoraires

: Pr. Badie Azzaman MEHADJI

: Pr. Abdelhaq ALAOUI YAZIDI

: Pr. Mohammed BOUSKRAOUI

ADMINISTRATION

Doyen

: Pr. Said ZOUHAIR

Vice doyen de la Recherche et la Coopération

: Pr. Mohamed AMINE

Vice doyen des Affaires Pédagogiques

: Pr. Redouane EL FEZZAZI

Vice doyen Chargé de la Pharmacie

: Pr. Oualid ZIRAOUI

Secrétaire Générale

: Mr. Azzeddine EL HOUDAIGUI

LISTE NOMINATIVE DU PERSONNEL ENSEIGNANTS CHERCHEURS PERMANANT

N°	Nom et Prénom	Cadre	Spécialités
01	ZOUHAIR Said (Doyen)	P.E.S	Microbiologie
02	CHOULLI Mohamed Khaled	P.E.S	Neuro pharmacologie
03	BOUSKRAOUI Mohammed	P.E.S	Pédiatrie
04	KHATOURI Ali	P.E.S	Cardiologie
05	NIAMANE Radouane	P.E.S	Rhumatologie
06	AIT BENALI Said	P.E.S	Neurochirurgie
07	KRATI Khadija	P.E.S	Gastro-entérologie
08	SOUMMANI Abderraouf	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
09	RAJI Abdelaziz	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
10	SARF Ismail	P.E.S	Urologie
11	MOUTAOUAKIL Abdeljalil	P.E.S	Ophtalmologie
12	AMAL Said	P.E.S	Dermatologie
13	ESSAADOUNI Lamiaa	P.E.S	Médecine interne
14	MANSOURI Nadia	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
15	MOUTAJ Redouane	P.E.S	Parasitologie

16	AMMAR Haddou	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
17	CHAKOUR Mohammed	P.E.S	Hématologie biologique
18	EL FEZZAZI Redouane	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
19	YOUNOUS Said	P.E.S	Anesthésie-réanimation
20	BENELKHAIAT BENOMAR Ridouan	P.E.S	Chirurgie générale
21	ASMOUKI Hamid	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
22	BOUMZEBRA Drissi	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
23	CHELLAK Saliha	P.E.S	Biochimie-chimie
24	LOUZI Abdelouahed	P.E.S	Chirurgie-générale
25	AIT-SAB Imane	P.E.S	Pédiatrie
26	GHANNANE Houssine	P.E.S	Neurochirurgie
27	OULAD SAIAD Mohamed	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
28	DAHAMI Zakaria	P.E.S	Urologie
29	EL HATTAOUI Mustapha	P.E.S	Cardiologie
30	AMINE Mohamed	P.E.S	Epidémiologie clinique
31	EL ADIB Ahmed Rhassane	P.E.S	Anesthésie-réanimation
32	ELFIKRI Abdelghani	P.E.S	Radiologie
33	ARSALANE Lamiae	P.E.S	Microbiologie-virologie
34	KAMILI El Ouafi El Aouni	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
35	MAOULAININE Fadl mrabih rabou	P.E.S	Pédiatrie (Néonatalogie)
36	MATRANE Aboubakr	P.E.S	Médecine nucléaire
37	ADMOU Brahim	P.E.S	Immunologie
38	CHERIF IDRISSE EL GANOUNI Najat	P.E.S	Radiologie
39	MANOUDI Fatiha	P.E.S	Psychiatrie
40	BOURROUS Monir	P.E.S	Pédiatrie
41	TASSI Noura	P.E.S	Maladies infectieuses
42	NEJMI Hicham	P.E.S	Anesthésie-réanimation
43	LAOUAD Inass	P.E.S	Néphrologie
44	FOURAJI Karima	P.E.S	Chirurgie
45	BOUKHIRA Abderrahman	P.E.S	Biochimie-chimie
46	KHALLOUKI Mohammed	P.E.S	Anesthésie-réanimation
47	BSISS Mohammed Aziz	P.E.S	Biophysique
48	EL OMRANI Abdelhamid	P.E.S	Radiothérapie

49	SORAA Nabila	P.E.S	Microbiologie–virologie
50	KHOUCHANI Mouna	P.E.S	Radiothérapie
51	JALAL Hicham	P.E.S	Radiologie
52	EL ANSARI Nawal	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques
53	AMRO Lamyae	P.E.S	Pneumo–phtisiologie
54	OUALI IDRISSE Mariem	P.E.S	Radiologie
55	ZAHLANE Mouna	P.E.S	Médecine interne
56	BENJILALI Laila	P.E.S	Médecine interne
57	NARJIS Youssef	P.E.S	Chirurgie générale
58	RABBANI Khalid	P.E.S	Chirurgie générale
59	SAMLANI Zouhour	P.E.S	Gastro–entérologie
60	LAGHMARI Mehdi	P.E.S	Neurochirurgie
61	ABOUSSAIR Nisrine	P.E.S	Génétique
62	BENCHAMKHA Yassine	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
63	CHAFIK Rachid	P.E.S	Traumato–orthopédie
64	ABKARI Imad	P.E.S	Traumato–orthopédie
65	EL BOUIHI Mohamed	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
66	LAKMICHI Mohamed Amine	P.E.S	Urologie
67	AGHOUTANE El Mouhtadi	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
68	HOCAR Ouafa	P.E.S	Dermatologie
69	EL KARIMI Saloua	P.E.S	Cardiologie
70	EL BOUCHTI Imane	P.E.S	Rhumatologie
71	QAMOUISS Youssef	P.E.S	Anésthésie réanimation
72	ZYANI Mohammad	P.E.S	Médecine interne
73	QACIF Hassan	P.E.S	Médecine interne
74	BEN DRISS Laila	P.E.S	Cardiologie
75	MOUFID Kamal	P.E.S	Urologie
76	EL BARNI Rachid	P.E.S	Chirurgie générale
77	KRIET Mohamed	P.E.S	Ophtalmologie
78	BOUCHENTOUF Rachid	P.E.S	Pneumo–phtisiologie
79	ABOUCHADI Abdeljalil	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
80	BASRAOUI Dounia	P.E.S	Radiologie
81	RAIS Hanane	P.E.S	Anatomie Pathologique

82	BELKHOU Ahlam	P.E.S	Rhumatologie
83	ZAOUI Sanaa	P.E.S	Pharmacologie
84	MSOUGAR Yassine	P.E.S	Chirurgie thoracique
85	EL MGHARI TABIB Ghizlane	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques
86	DRAISS Ghizlane	P.E.S	Pédiatrie
87	EL IDRISSE SLITINE Nadia	P.E.S	Pédiatrie
88	RADA Noureddine	P.E.S	Pédiatrie
89	BOURRAHOUAT Aicha	P.E.S	Pédiatrie
90	MOUAFFAK Youssef	P.E.S	Anesthésie-réanimation
91	ZIADI Amra	P.E.S	Anesthésie-réanimation
92	ANIBA Khalid	P.E.S	Neurochirurgie
93	TAZI Mohamed Illias	P.E.S	Hématologie clinique
94	ROCHDI Youssef	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
95	FADILI Wafaa	P.E.S	Néphrologie
96	ADALI Imane	P.E.S	Psychiatrie
97	ZAHLANE Kawtar	P.E.S	Microbiologie- virologie
98	LOUHAB Nisrine	P.E.S	Neurologie
99	HAROU Karam	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
100	BOUKHANNI Lahcen	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
101	FAKHIR Bouchra	P.E.S	Gynécologie-obstétrique
102	BENHIMA Mohamed Amine	P.E.S	Traumatologie-orthopédie
103	HACHIMI Abdelhamid	P.E.S	Réanimation médicale
104	EL KHAYARI Mina	P.E.S	Réanimation médicale
105	AISSAOUI Younes	P.E.S	Anesthésie-réanimation
106	BAIZRI Hicham	P.E.S	Endocrinologie et maladies métaboliques
107	ATMANE El Mehdi	P.E.S	Radiologie
108	EL AMRANI Moulay Driss	P.E.S	Anatomie
109	BELBARAKA Rhizlane	P.E.S	Oncologie médicale
110	ALJ Soumaya	P.E.S	Radiologie
111	OUBAHA Sofia	P.E.S	Physiologie
112	EL HAOUATI Rachid	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
113	BENALI Abdeslam	P.E.S	Psychiatrie
114	MLIHA TOUATI Mohammed	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie

115	MARGAD Omar	P.E.S	Traumatologie–orthopédie
116	KADDOURI Said	P.E.S	Médecine interne
117	ZEMRAOUI Nadir	P.E.S	Néphrologie
118	EL KHADER Ahmed	P.E.S	Chirurgie générale
119	DAROUASSI Youssef	P.E.S	Oto–rhino–laryngologie
120	BENJELLOUN HARZIMI Amine	P.E.S	Pneumo–phtisiologie
121	FAKHRI Anass	P.E.S	Histologie–embyologie cytogénétique
122	SALAMA Tarik	P.E.S	Chirurgie pédiatrique
123	CHRAA Mohamed	P.E.S	Physiologie
124	ZARROUKI Youssef	P.E.S	Anesthésie–réanimation
125	AIT BATAHAR Salma	P.E.S	Pneumo–phtisiologie
126	ADARMOUCH Latifa	P.E.S	Médecine communautaire (médecine préventive, santé publique et hygiène)
127	BELBACHIR Anass	P.E.S	Anatomie pathologique
128	HAZMIRI Fatima Ezzahra	P.E.S	Histologie–embyologie cytogénétique
129	EL KAMOUNI Youssef	P.E.S	Microbiologie–virologie
130	EL MEZOUARI El Mostafa	P.E.S	Parasitologie mycologie
131	SERGHINI Issam	P.E.S	Anesthésie–réanimation
132	ABIR Badreddine	P.E.S	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
133	GHAZI Mirieme	P.E.S	Rhumatologie
134	ZIDANE Moulay Abdelfettah	P.E.S	Chirurgie thoracique
135	LAHKIM Mohammed	P.E.S	Chirurgie générale
136	MOUHSINE Abdelilah	P.E.S	Radiologie
137	TOURABI Khalid	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
138	ARABI Hafid	P.E.S	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle
139	BELHADJ Ayoub	P.E.S	Anesthésie–réanimation
140	BOUZERDA Abdelmajid	P.E.S	Cardiologie
141	ABDELFETTAH Youness	P.E.S	Rééducation et réhabilitation fonctionnelle
142	REBAHI Houssam	P.E.S	Anesthésie–réanimation
143	BENNAOUI Fatiha	P.E.S	Pédiatrie
144	ZOUIZRA Zahira	P.E.S	Chirurgie Cardio–vasculaire

145	SEBBANI Majda	P.E.S	Médecine Communautaire (Médecine préventive, santé publique et hygiène)
146	FENANE Hicham	Pr Ag	Chirurgie thoracique
147	ABDOU Abdessamad	P.E.S	Chirurgie Cardio-vasculaire
148	HAMMOUNE Nabil	P.E.S	Radiologie
149	ESSADI Ismail	P.E.S	Oncologie médicale
150	ALJALIL Abdelfattah	P.E.S	Oto-rhino-laryngologie
151	LAFFINTI Mahmoud Amine	P.E.S	Psychiatrie
152	RHARRASSI Issam	P.E.S	Anatomie-pathologique
153	ASSERRAJI Mohammed	P.E.S	Néphrologie
154	JANAH Hicham	P.E.S	Pneumo-phthisiologie
155	NASSIM SABAH Taoufik	P.E.S	Chirurgie réparatrice et plastique
156	ELBAZ Meriem	P.E.S	Pédiatrie
157	SEDDIKI Rachid	P.E.S	Anesthésie-réanimation
158	BELGHMAIDI Sarah	Pr Ag	Ophtalmologie
159	GEBRATI Lhoucine	MC Hab	Chimie
160	FDIL Naima	MC Hab	Chimie de coordination bio-organique
161	LOQMAN Souad	MC Hab	Microbiologie et Toxicologie
162	BAALLAL Hassan	Pr Ag	Neurochirurgie
163	BELFQUIH Hatim	Pr Ag	Neurochirurgie
164	AKKA Rachid	Pr Ag	Gastro-entérologie
165	BABA Hicham	Pr Ag	Chirurgie générale
166	MAOUJOUD Omar	Pr Ag	Néphrologie
167	SIRBOU Rachid	Pr Ag	Médecine d'urgence et de catastrophe
168	DAMI Abdallah	Pr Ag	Médecine Légale
169	AZIZ Zakaria	Pr Ag	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
170	ELOUARDI Youssef	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
171	LAHLIMI Fatima Ezzahra	Pr Ag	Hématologie clinique
172	NASSIH Houda	Pr Ag	Pédiatrie
173	LAHMINI Widad	Pr Ag	Pédiatrie
174	BENANTAR Lamia	Pr Ag	Neurochirurgie
175	EL FADLI Mohammed	Pr Ag	Oncologie médicale
176	AIT ERRAMI Adil	Pr Ag	Gastro-entérologie

177	CHETTATI Mariam	Pr Ag	Néphrologie
178	BOUTAKIOUTE Badr	Pr Ag	Radiologie
179	SAYAGH Sanae	Pr Ag	Hématologie
180	EL FAKIRI Karima	Pr Ag	Pédiatrie
181	EL FILALI Oualid	Pr Ag	Chirurgie Vasculaire périphérique
182	EL- AKHIRI Mohammed	Pr Ag	Oto-rhino-laryngologie
183	HAJJI Fouad	Pr Ag	Urologie
184	JALLAL Hamid	Pr Ag	Cardiologie
185	ZBITOU Mohamed Anas	Pr Ag	Cardiologie
186	RAISSI Abderrahim	Pr Ag	Hématologie clinique
187	EL HAKKOUNI Awatif	Pr Ag	Parasitologie mycologie
188	ACHKOUN Abdessalam	Pr Ag	Anatomie
189	DARFAOUI Mouna	Pr Ag	Radiothérapie
190	EL-QADIRY Rabiyy	Pr Ag	Pédiatrie
191	ELJAMILI Mohammed	Pr Ag	Cardiologie
192	HAMRI Asma	Pr Ag	Chirurgie Générale
193	ELATIQI Oumkeltoum	Pr Ag	Chirurgie réparatrice et plastique
194	BENZALIM Meriam	Pr Ag	Radiologie
195	ABOULMAKARIM Siham	Pr Ag	Biochimie
196	LAMRANI HANCHI Asmae	Pr Ag	Microbiologie-virologie
197	HAJHOUI Farouk	Pr Ag	Neurochirurgie
198	EL KHASSOUI Amine	Pr Ag	Chirurgie pédiatrique
199	CHAHBI Zakaria	Pr Ag	Maladies infectieuses
200	MEFTAH Azzelarab	Pr Ag	Endocrinologie et maladies métaboliques
201	BELLASRI Salah	Pr Ag	Radiologie
202	ATMANI Nouredine	Pr Ag	Chirurgie Cardio-vasculaire
203	AABBASSI Bouchra	Pr Ag	Pédopsychiatrie
204	DOUIREK Fouzia	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
205	SAHRAOUI Houssam Eddine	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
206	RHEZALI Manal	Pr Ag	Anesthésie-réanimation
207	ABALLA Najoua	Pr Ag	Chirurgie pédiatrique
208	MOUGUI Ahmed	Pr Ag	Rhumatologie
209	ZOUITA Btissam	Pr Ag	Radiologie

210	HAZIME Raja	Pr Ag	Immunologie
211	SALLAHI Hicham	Pr Ag	Traumatologie–orthopédie
212	BENCHAFAI Ilias	Pr Ag	Oto–rhino–laryngologie
213	EL JADI Hamza	Pr Ag	Endocrinologie et maladies métaboliques
214	AZAMI Mohamed Amine	Pr Ag	Anatomie pathologique
215	FASSI FIHRI Mohamed jawad	Pr Ag	Chirurgie générale
216	AMINE Abdellah	Pr Ag	Cardiologie
217	CHETOUI Abdelkhalek	Pr Ag	Cardiologie
218	ROUKHSI Redouane	Pr Ag	Radiologie
219	ARROB Adil	Pr Ag	Chirurgie réparatrice et plastique
220	MOULINE Souhail	Pr Ag	Microbiologie–virologie
221	AZIZI Mounia	Pr Ag	Néphrologie
222	BOUHAMIDI Ahmed	Pr Ag	Dermatologie
223	YANISSE Siham	Pr Ag	Pharmacie galénique
224	KHALLIKANE Said	Pr Ag	Anesthésie–réanimation
225	ZIRAOUI Oualid	Pr Ag	Chimie thérapeutique
226	IDALENE Malika	Pr Ag	Maladies infectieuses
227	LACHHAB Zineb	Pr Ag	Pharmacognosie
228	ABOUDOURIB Maryem	Pr Ag	Dermatologie
229	AHBALA Tariq	Pr Ag	Chirurgie générale
230	EL AOUAME Amal	Pr Ag	Orthodontie et orthopédie dento–faciale
231	WARDA Karima	MCHab	Microbiologie
232	SBAI Asma	MCHab	Informatique
233	ABISSY Meriem	MC	Microbiologie
234	SLIOUI Badr	MC	Radiologie
235	CHEGGOUR Mouna	MC	Biochimie
236	BELARBI Marouane	MC	Néphrologie
237	EL AMIRI My Ahmed	MC	Chimie de Coordination bio–organnique
238	LALAOUI Abdessamad	MC	Pédiatrie
239	ESSAFTI Meryem	MC	Anesthésie–réanimation
240	RACHIDI Hind	MC	Anatomie pathologique
241	FIKRI Oussama	MC	Pneumo–phtisiologie
242	EL HAMDAOUI Omar	MC	Toxicologie

243	EL HAJJAMI Ayoub	MC	Radiologie
244	BOUMEDIANE El Mehdi	MC	Traumato-orthopédie
245	RAFI Sana	MC	Endocrinologie et maladies métaboliques
246	JEBRANE Ilham	MC	Pharmacologie
247	LAKHDAR Youssef	MC	Oto-rhino-laryngologie
248	LGHABI Majida	MC	Médecine du Travail
249	AIT LHAJ El Houssaine	MC	Ophtalmologie
250	RAMRAOUI Mohammed-Es-said	MC	Chirurgie générale
251	EL MOUHAFID Faisal	MC	Chirurgie générale
252	AHMANNNA Hussein-choukri	MC	Radiologie
253	AIT M'BAREK Yassine	MC	Neurochirurgie
254	ELMASRIOUI Joumana	MC	Physiologie
255	FOURA Salma	MC	Chirurgie pédiatrique
256	LASRI Najat	MC	Hématologie clinique
257	BOUKTIB Youssef	MC	Radiologie
258	MOUROUTH Hanane	MC	Anesthésie-réanimation
259	BOUZID Fatima zahrae	MC	Génétique
260	MRHAR Soumia	MC	Pédiatrie
261	QUIDDI Wafa	MC	Hématologie
262	BEN HOUMICH Taoufik	MC	Microbiologie-virologie
263	FETOUI Imane	MC	Pédiatrie
264	FATH EL KHIR Yassine	MC	Traumato-orthopédie
265	NASSIRI Mohamed	MC	Traumato-orthopédie
266	AIT-DRISS Wiam	MC	Maladies infectieuses
267	AIT YAHYA Abdelkarim	MC	Cardiologie
268	DIANI Abdelwahed	MC	Radiologie
269	AIT BELAID Wafae	MC	Chirurgie générale
270	ZTATI Mohamed	MC	Cardiologie
271	HAMOUCHE Nabil	MC	Néphrologie
272	ELMARDOULI Mouhcine	MC	Chirurgie Cardio-vasculaire
273	BENNIS Lamiae	MC	Anesthésie-réanimation
274	BENDAOUD Layla	MC	Dermatologie
275	HABBAB Adil	MC	Chirurgie générale

276	CHATAR Achraf	MC	Urologie
277	OUMGHAR Nezha	MC	Biophysique
278	HOUMAID Hanane	MC	Gynécologie-obstétrique
279	YOUSFI Jaouad	MC	Gériatrie
280	NACIR Oussama	MC	Gastro-entérologie
281	BABACHEIKH Safia	MC	Gynécologie-obstétrique
282	ABDOURAFIQ Hasna	MC	Anatomie
283	TAMOUR Hicham	MC	Anatomie
284	IRAQI HOUSSAINI Kawtar	MC	Gynécologie-obstétrique
285	EL FAHIRI Fatima Zahrae	MC	Psychiatrie
286	BOUKIND Samira	MC	Anatomie
287	LOUKHNATI Mehdi	MC	Hématologie clinique
288	ZAHROU Farid	MC	Neurochirurgie
289	MAAROUFI Fathillah Elkarim	MC	Chirurgie générale
290	EL MOUSSAOUI Soufiane	MC	Pédiatrie
291	BARKICHE Samir	MC	Radiothérapie
292	ABI EL AALA Khalid	MC	Pédiatrie
293	AFANI Leila	MC	Oncologie médicale
294	EL MOULOUA Ahmed	MC	Chirurgie pédiatrique
295	LAGRINE Mariam	MC	Pédiatrie
296	DAFIR Kenza	MC	Génétique
297	CHERKAOUI RHAZOUANI Oussama	MC	Neurologie
298	ABAINOU Lahoussaine	MC	Endocrinologie et maladies métaboliques
299	BENCHANNA Rachid	MC	Pneumo-phtisiologie
300	EL GUAZZAR Ahmed (Militaire)	MC	Chirurgie générale
301	OULGHOUL Omar	MC	Oto-rhino-laryngologie
302	AMOCH Abdelaziz	MC	Urologie
303	ZAHLAN Safaa	MC	Neurologie
304	EL MAHFOUDI Aziz	MC	Gynécologie-obstétrique
305	CHEHBOUNI Mohamed	MC	Oto-rhino-laryngologie
306	LAIRANI Fatima ezzahra	MC	Gastro-entérologie
307	SAADI Khadija	MC	Pédiatrie
308	TITOU Hicham	MC	Dermatologie

309	EL GHOUL Naoufal	MC	Traumato-orthopédie
310	BAHI Mohammed	MC	Anesthésie-réanimation
311	RAITEB Mohammed	MC	Maladies infectieuses
312	DREF Maria	MC	Anatomie pathologique
313	ENNACIRI Zainab	MC	Psychiatrie
314	BOUSSAIDANE Mohammed	MC	Traumato-orthopédie
315	JENDOUI Omar	MC	Urologie
316	MANSOURI Maria	MC	Génétique
317	ERRIFAIY Hayate	MC	Anesthésie-réanimation
318	BOUKOUB Naila	MC	Anesthésie-réanimation
319	OUACHAOU Jamal	MC	Anesthésie-réanimation
320	EL FARGANI Rania	MC	Maladies infectieuses
321	IJIM Mohamed	MC	Pneumo-phtisiologie
322	AKANOUR Adil	MC	Psychiatrie
323	ELHANAFI Fatima Ezzohra	MC	Pédiatrie
324	MERBOUH Manal	MC	Anesthésie-réanimation
325	BOUROUMANE Mohamed Rida	MC	Anatomie
326	IJDDA Sara	MC	Endocrinologie et maladies métaboliques
327	GHARBI Khalid	MC	Gastro-entérologie
328	ATBIB Yassine	MC	Pharmacie clinique
329	MOURAFIQ Omar	MC	Traumato-orthopédie
330	ZAIZI Abderrahim	MC	Traumato-orthopédie
331	HENDY Iliass	MC	Cardiologie
332	HATTAB Mohamed Salah Koussay	MC	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
333	DEBBAGH Fayrouz	MC	Microbiologie-virologie
334	OUASSIL Sara	MC	Radiologie
335	KOUYED Aicha	MC	Pédopsychiatrie
336	DRIOUICH Aicha	MC	Anesthésie-réanimation
337	TOURAIF Mariem	MC	Chirurgie pédiatrique
338	BENNAOUI Yassine	MC	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
339	SABIR Es-said	MC	Chimie bio organique clinique
340	LAATITIOUI Sana	MC	Radiothérapie

341	IBBA Mouhsin	MC	Chirurgie thoracique
342	SAADOUNE Mohamed	MC	Radiothérapie
343	TLEMCANI Younes	MC	Ophthalmologie
344	SOLEH Abdelwahed	MC	Traumato-orthopédie
345	OUALHADJ Hamza	MC	Immunologie
346	BERGHALOUT Mohamed	MC	Psychiatrie
347	EL BARAKA Soumaya	MC	Chimie analytique-bromatologie
348	KARROUMI Saadia	MC	Psychiatrie
349	EL-OUAKHOUMI Amal	MC	Médecine interne
350	AJMANI Fatima	MC	Médecine légale
351	ZOUITEN Othmane	MC	Oncologie médicale
352	MENJEL Imane	MC	Pédiatrie
353	BOUCHKARA Wafae	MC	Gynécologie-obstétrique
354	ASSEM Oualid	MC	Pédiatrie
355	ELHANAFI Asma	MC	Médecine physique et réadaptation fonctionnelle
356	ABDELKHALKI Mohamed Hicham	MC	Gynécologie-obstétrique
357	ELKASSEH Mostapha	MC	Traumato-orthopédie
358	EL OUAZZANI Meryem	MC	Anatomie pathologique
359	HABBAB Mohamed	MC	Traumato-orthopédie
360	KHAMLIJ Aimad Ahmed	MC	Anesthésie-réanimation
361	EL KHADRAOUI Halima	MC	Histologie-embryologie-cyto-génétique
362	ELKHETTAB Fatimazahra	MC	Anesthésie-réanimation
363	SIDAYNE Mohammed	MC	Anesthésie-réanimation
364	ZAKARIA Yasmina	MC	Neurologie
365	BOUKAIDI Yassine	MC	Chirurgie Cardio-vasculaire
366	NABIL Mehdi	MC	Anesthésie-réanimation
367	KAAKOUA Mohamed	MC	Oncologie médicale
368	FIQHI Mohammed Kamal	MC	Stomatologie et chirurgie maxillo faciale
369	BEN ELHEND Salah	MC	Radiologie
370	KHERRAB Anass	MC	Rhumatologie
371	AWATI El Mehdi	MC	Hématologie

372	HAOUANE Mohamed Amine	MC	Anatomie pathologique
373	BOUABBADI Salah eddine	MC	Ophtalmologie
374	MOUNIR Reda	MC	Chirurgie Cardio-vasculaire
375	AHCHOUCH Siham	MC	Hématologie clinique
376	AZRIOUIL Ouhb	MC	Traumato-orthopédie
377	CHALOUAH Badr	MC	Traumato-orthopédie
378	EL BEJJAJ latimad	MC	Anatomie pathologique
379	BABA Zineb	MC	Rhumatologie
380	OUSSAYEH Imane	MC	Anesthésie-réanimation

LISTE ARRETEE LE 08/10/2025



DÉDICACES





بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَعَلَّمَكَ اللَّهُ الْكِتَابَ

وَكَانَ فَضْلُ اللَّهِ عَلَيْكَ عَظِيمًا

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضله تنزل الرحمات، وبحكمته
تُدرَك الغايات.

وما كنتُ لأنال ما أنا فيه، أو أبلغ ما بلغت، لولا فضله سبحانه وتعالى
أولاً وآخرًا، ظاهرًا وباطنًا.

له الحمد على ما علّمني وما ألهمني، وما وفقني إليه

من علم وعمل في سبيله.

أسأله جلّ في علاه أن يجعل هذا العمل خالصًا لوجهه الكريم، نافعًا
لعباده، وأن يعينني على الإخلاص في مهنتي،

لأكون وسيلة من وسائل رحمته بعباده،

شكرًا له واعترافًا بفضله العظيم.

وَالْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي عَلَّمَكَ الْقُرْآنَ

قال رسول الله ﷺ

« مَنْ لَا يَشْكُرُ النَّاسَ لَا يَشْكُرُ اللَّهَ »

À la lumière de cette parole où se mêlent la foi et la reconnaissance, je dédie ce travail à toutes celles et ceux qui ont été les instruments du bien et de la lumière sur mon chemin.

À ceux dont la présence, la bienveillance et les prières ont nourri ma détermination, soutenu mes pas et éclairé mes jours d'étude et de labeur.

Puissent ces pages être un modeste témoignage de mon affection, de ma reconnaissance et de ma gratitude profonde.

To my grandmother, Haja El Aichia,

You are my greatest inspiration in life. I will always remember the days I came to you during my exam preparation periods, and how you would sit beside me for hours, in complete silence, simply so I would not feel alone while studying. You took care of me with an unconditional love, always knowing what I needed without me having to say a single word. In my eyes, you are the true definition of goodness in this world. Through your way of living—giving, caring, and loving—you changed the way I see life. You taught me what it truly means to live for others, and your love extended to everyone and everything around you.

Last summer was the most difficult period of my life, when you were in the hospital, so ill that I feared losing you. I could not accept the idea of continuing my journey, or reaching my graduation day, without you. That moment showed me how deeply you are part of who I am, and how much strength you give me. Today, seeing you in good health and knowing that I will live this graduation with you fills my heart with gratitude. I thank God every day for your presence in my life, because I would not be the same without you. Everything I am carries a part of you. Rbī khlīk līa .

In loving memory of my uncle, Khali Hmed,

You were a quiet presence, someone who walked through life with discretion, and I did not fully realize, while you were still with us, how profoundly you mattered to me or how deeply your loss would shape my life. When I learned about your illness, I came to be by your side, believing I was there to help you. In truth, it was you who helped me the most. Sharing your final days taught me that even those who move silently through the world may carry great dreams, hopes, and inner strength. Your journey and your courage changed me deeply. After your passing, I became more empathetic, more attentive, and more human in my care for others. You influenced the kind of doctor I aspire to become. For that, and for the quiet lessons you left behind, this thesis is dedicated to you. Allah yerhamk.

To my mom Touria Ennasri

Throughout all these years, I vividly remember how you would always take me to the airport whenever I had to return to Marrakech for my exams, and how painful it was to leave the home where I grew up. I would cry, unwilling to go back, yet you were always there to encourage me. You reminded me that this is life, that I have goals, and that I must do what is necessary to achieve them.

You made me stronger every time I felt weak. You never allowed me to give up or lose hope. You supported me endlessly, not only through words, but through your actions. You taught me the true meaning of duty and perseverance, and showed me that surrender is never an option. Your strength may appear effortless, but I know it is built on patience, discipline, and the courage to be present every single day.

You always placed me and my needs before your own, sacrificing everything without complaint to make me and my siblings happy. If I stand here today, after these seven years, with strength and determination, it is because of you. Everything I am today is the result of your sacrifices and your unconditional love.

To me, you are the true example of a strong woman. You are my greatest support, my strength, and my foundation. Thank you for everything. Even my gratitude will never be enough for the life you gave to me and my siblings. One day, I hope to give that life back to you — I hope one day I can give you the whole world.

To my father Boubker JOUD

A man of few words, yet of immense depth, you carry a presence both discreet and powerful, and remain the most mysterious person I have ever known.

You lived a childhood shaped by hardships you never spoke of, choosing silence over complaint and dignity over explanation. What was once scarce or out of reach for you became, through your sacrifices, an ordinary part of our lives. You gave us everything you never had, without ever reminding us of the cost.

Your love was never loud, but it was always present. You offered freedom as a form of guidance, allowing dreams to grow without limitation and choices to be made without fear. In that space of respect, I learned responsibility, independence, and self-belief.

You taught us fairness without preaching it, strength without harshness, and integrity without compromise. You never made distinctions between your children, and through your example, you shaped the values that define me today—discipline, honesty, and respect for what is right.

If I stand here today, it is because of you. This thesis is dedicated to you, with gratitude for every sacrifice, every lesson, and every silent act of love. You have shaped not only who I am, but all that I aspire to become.

To my big sister, Fatimzahra,

It is true that we did not grow up in the same house, yet you were always an essential part of my childhood. Every summer, when the long wait finally ended and I got to see you, it felt like a celebration. The chocolates and sweets you brought from Italy were more than gifts—they became core memories that shaped my childhood and filled it with joy.

When you came to Dakhla to spend a month or two with us, our days were filled with laughter. Your jokes, your energy, and your presence turned ordinary moments into unforgettable ones. I laughed until I had no breath left, and in those moments, I felt complete happiness. I often wished we could have lived under the same roof and grown up side by side. But even without that, your place in my heart has never changed. Distance never lessened the love I have for you. I love you deeply, my sister Fati. This work carries a part of the joy, warmth, and laughter you brought into my life.

To my sister Khadija,

With an eight-year age gap between us, you were always someone I looked up to. In my eyes, you were a superstar—the coolest and most creative person I had ever known. You drew, painted, and wrote with talent, and in a small city, at just 15 or 16 years old, you were already riding a big motorcycle with confidence and fearlessness. You embodied independence and strength, and I admired you deeply for it. Beyond all of that, you were always the kindest to me—the sister I could trust the most. I always felt safe with you, understood and protected in your presence.

*I know life has not always unfolded the way you hoped it would. But I believe in you—deeply and without hesitation. I believe in your resilience, your inner strength, and your ability to rise again. I have always believed in you, and I always will. Thank you for supporting me throughout all these years, for standing by me in ways that mattered more than words. And thank you for giving us the angel of our family, your daughter **Ghita**, who fills our lives with light, joy, and happiness. This work carries a part of your strength, your creativity, and your inspiration within it.*

To my sister, Soukaina,

You are generosity in its purest form. Your heart is kind, sincere, and endlessly giving. Throughout all these years, you supported me not only emotionally, but also in every way you could, always giving without ever expecting anything in return. Your help was never conditional—only loving, constant, and selfless.

You have always been welcoming, gentle, and full of tenderness. At times, I felt as though you were my second mother, offering comfort, protection, and reassurance when I needed it most. Your presence, even from a distance, has always been a source of strength. Thank you for giving us two angels, **Yaacoub** and **Jado**, who fill our lives with joy, warmth, and meaning. And a special thank you to **your husband, Azzedine**, for being like the big brother I never had—your support, kindness, and presence have meant more to me than words can express. I know you cannot be here with me today, but please know that this moment would never have been possible without your love and your sacrifices. Every step I took forward was carried by your support. I love you deeply, and this work stands as a reflection of all that you gave, quietly and generously, along the way.

To my sister, Zineb,

You are one of the most important people in my journey. Only three years older than me, yet from the very beginning, you became my protector. After my baccalaureate, you were the one who stood by my side, traveling with me across the country to sit for competitive entrance exams. You never left me alone. Together, we crossed Morocco during those difficult and uncertain moments, and you took care of me until the day I was accepted into medical school in Marrakech.

Though we are close in age, you carried a responsibility far beyond your years. After our parents, you were the person who helped me the most throughout these seven long years. You supported my dreams as if they were your own, helped make them real, and gave me everything you could so I could move forward without fear. I owe you more than words can ever express. When we were younger, I did not always understand you. I did not always show you the love you deserved. Today, I realize that perhaps you loved me more than I knew, and that I was sometimes too hard on you. For that, I want to say both thank you and I am sorry—from my heart.

Without you, I would never be standing here today. You are my greatest supporter, my strength, and my constant presence. I hope that one day, I can help make your dreams come true, just as you helped make mine. This work is a reflection of your sacrifices, your love, and your unwavering belief in me.

To my little sister, Fouzia,

We grew up under the same roof, shaped by the same home, yet we became so different. And in that difference, you became one of my greatest lessons. Your personality, your freedom, and your courage to live fully as yourself showed me something I spent years trying to learn—that to be loved, I do not need to be perfect. I need to be honest, bold, and true to who I am. And when I am, love follows.

You never tried to fit into expectations or change yourself to be accepted.

Instead, you lived openly, fearlessly, and with a light that could not be ignored. Watching you taught me that authenticity is not a weakness, but a strength, and that being yourself is enough.

You understood my challenges without me having to explain them. Thank you for your emotional support, for your quiet understanding, and for loving me unconditionally. You are an extraordinary sister, and this work carries a part of you within it. Whatever I become, a part of my heart will always be shaped by your light.

To my little brother, Simohamed Joud,

You are my only brother, and to me, you have always felt like my first child. You move through the world at your own rhythm, with sincerity and meaning. From the very beginning, I knew you were different—not in weakness, but in uniqueness. I have always known you to be intelligent and perceptive, even when others may not see it.

Despite the eight-year age gap between us, you brought me joy and allowed me to relive my childhood through you. Leaving Dakhla was hardest because it meant leaving you. Seeing how you grew stronger and wiser in your own quiet way showed me your inner strength. Thank you for being my brother. I could never ask for a better one. Sometimes, it feels like it is just you and me against the world—and that bond is something I will always protect.

To my cousin, Fatima Elharass

You are a truly inspiring woman, with a heart that is rare in this time. In a world where kindness is often forgotten, you live generosity and compassion as a principle—a true way of life. You gave me a second home, a refuge that was always there for me. I was welcomed with warmth, kindness, and a sincere smile, and despite the distance from my own home, you made me feel protected, supported, and loved, as if I were one of your daughters. I respect you deeply and remain endlessly grateful for everything you gave me—things so meaningful that words can never fully express. This work carries my deepest gratitude and admiration for you.

To Salma and Wiam saibi,

You are not only my cousins—you are my family, my best friends, and my sisters all at once. From the moment I started coming to your home, my life changed in ways I could never have imagined. That place became a turning point in both my personal life and my medical journey. You filled my days with joy, love, laughter, and support. Through your presence, I found comfort, strength, and a sense of belonging that shaped who I became during these years. On a day like this, I cannot imagine myself as the same person without you both. Each of you holds a unique and irreplaceable place in my heart. Thank you for everything you gave me—your kindness, your warmth, and your love.

To my uncles and aunts, and to the entire Joud and Ennasri families.
To Adil Elharass, Nawal, Hajar, and Malak, and to the entire Elharass family,
y a la familia Mahassine en su totalidad, en especial a mis primas Fátima, Imane, Dounia, Lamia y Aya, y a mi tía Rachida.

I wish I could name each of you individually; however, even a thousand pages would not suffice to convey the depth of my affection and gratitude. Thank you for your constant presence, unwavering support, and for standing by me through every trial, at all times.

To my dearest friend, Aya

You are not only my friend—you are family. We met in high school, and eleven years later, we are still standing side by side. For the past seven years, we shared a life together in Marrakech, in a small apartment, far from home. Two girls, just seventeen years old, facing a new city and a new life alone, trusted by our parents to grow faster than we ever imagined. At that time, all I had was you—and you had me. I know how difficult it was for you to adapt to that new life, but for me, your presence was a relief. Because of you, I never felt alone. Even in moments of uncertainty, your presence made everything feel lighter. You stayed with me through all my changes, my doubts, and my growth. You are the person who knows me most—perhaps more than anyone else in this world. You understand the unspoken, you know when silence is needed and when words must be spoken. That sensitivity is rare, and it shaped me deeply. Because you mattered so much to me, I often wanted to give you more than I knew how to express. We love differently, and sometimes my intensity may have been misunderstood. But through you, I learned to accept differences, to understand that love does not have a single language.

Our bond is special. It goes far beyond friendship. It was built through years of shared life, shared silence, shared struggles, and shared dreams. We grew up together, becoming each other's refuge and strength. Even your presence in the room next to mine was enough to bring comfort. I know few people are fortunate enough to experience a bond like ours, and I am endlessly grateful for it. This work is dedicated to you. Your presence lives in every line of it.

To the Naamane family,

To you, **Aya's mother**, I offer my deepest gratitude for your kindness and tenderness toward me throughout these seven years of medical studies. Each time you came to stay with us, you took care of me with the same love and attention you gave your own daughter. Your warmth, generosity, and loving nature made me feel truly at home.

To you, **Aya's father**, her **sisters**, and the entire family, thank you for your constant support, your welcome, and the affection you showed me. I am deeply grateful for the sense of belonging you gave me.

A special thank you to you, **Loubna**—my cherished primary school teacher—who holds a very special place in my childhood memories. Your guidance, kindness, and presence left a lasting mark on my life and continue to inspire me.

To this beautiful Naamane family, thank you for your love, your care, and for always making me feel like one of your own. This work is dedicated to you with sincere gratitude and deep respect.

To my friend, Fati,

We have known each other since high school, and throughout our years together, your presence became a quiet source of comfort in my life. Your kindness, your gentleness, and your pure heart made those years lighter and more peaceful.

You gave with sincerity and generosity, always without expectation. I do not know if I was ever as helpful to you as you were to me, but I know that I received far more than I gave, and for that, I will always carry deep gratitude.

You deserve nothing but the best. I hope and trust that this bond will remain with us forever. This journey was brighter because of you, and I will always cherish our friendship.

To my binôme, Meriem Kabbaj,

We did not only share hospital nights and long shifts. We shared conversations, fears, long discussions, and laughter that helped us get through this demanding period. Thanks to you, even the hardest moments turned into memories we can now smile and laugh about. I clearly remember how boring and heavy the rotations felt without you, which showed me how much your presence mattered.

Beyond studies, you were always there for me. You listened to me, supported me, and understood me with kindness. Your pure heart and gentle presence made everything lighter. We shared both good and difficult moments, not only as binômes, but as true friends.

This journey would not have been the same without you. I will always be grateful to have you as a dear friend in my life.

To my jackpot Salma Bahía,

Thank you for making me feel seen and heard in moments when words were difficult to find. Your gentle presence and soft voice were a true relief, offering calm and safety during years that were often heavy. With you, silence was never uncomfortable, and conversations were always deep and sincere. We were like soulmates in the way we connected. Your heart is a treasure—like a diamond not everyone can recognize, but once discovered, it becomes a rare blessing, like winning a jackpot. Sharing space with you allowed me to grow quietly, to reflect, and to understand myself in ways that only genuine connection makes possible. I wish from my heart that life always surrounds you with happiness and with people who truly see the value of your heart. This work is dedicated to you, with gratitude for a friendship that left a lasting mark on who I am.

To my Hossi,

You feel like the answer to a prayer—a prayer a parent makes for their daughter, asking God to place kind and sincere people in her path. Meeting you is one of the greatest gifts I gained from this journey.

You always took care of me, listened to me, and accepted me as I am. Even when you were busy, you never failed to find time to check on me, to meet me, or simply to be there. In my most difficult moments, you were the person I found myself calling, knowing I would be met with understanding and warmth. Words are not enough to express my gratitude, nor to describe how much your friendship means to me. I deeply appreciate you, respect you, and cherish the place you hold in my life. I cannot imagine this journey without you. Thank you for everything—for your presence, your kindness, and your unwavering support.

To my dear friend, Soufiane,

The friendship that brought us together has always been more than an ordinary one. We shared laughter, dreams, doubts, and fears, creating a bond that grew stronger with time and carried us through every stage of this journey. Because of you, living here felt easier and more familiar. Your humor, your kindness, and your jokes brought relief during the hardest days. We were young when this journey began, and over the years, we grew up together. We witnessed each other's victories and setbacks, and watched our characters evolve with time.

We changed, but our friendship never did. It had its ups and downs, yet the love and respect we share never faded. Our bond is special, and because of it, these seven years felt lighter to me. You were one of the most meaningful parts of this journey.

TO DR. SAID OUASSI

From two candidates standing on the same stage during a university talent competition, life quietly turned us into friends. I never really knew how it happened, but from that moment on, our paths became linked. We shared laughter, dreams, and moments of difficulty that brought us closer.

Throughout my medical school journey, you were always present and supported me from the very beginning. You helped make things clearer when everything felt confusing—how to study, how to organize myself, and how to move forward. Whenever I needed guidance, you gave me your time, listened carefully, and offered thoughtful advice. I am deeply grateful to you for your constant support. Your presence accompanied me at every step of this journey, and this work carries my sincere appreciation for everything you gave along the way.

To Zakaria Houssa,

What we shared throughout these years was nothing less than special. A friendship built on trust, presence, and a deep understanding that did not always need words. You listened to me, supported me, and stood by my side in moments when that support truly mattered. Through shared moments, conversations, and quiet understanding, we became a source of comfort for one another. Time may change many things, but it also reveals what is genuine. What remains is my sincere appreciation for your loyalty, your kind heart, and the place you hold in my journey. Thank you for the support you gave me and for the friendship we shared. This work carries that gratitude with respect and warmth.

To Imane,

It is true that we grew closer only this year, yet your support and your pure, kind heart leave a lasting impression. Your smile and positive energy make people naturally drawn to you, and wherever you go, you bring light and warmth.

Even in these few months, you always took the time to check on me and offer your support. That presence meant more than you may know. Thank you, Imane, for your kindness, your care, and the sincerity of your heart.

To Ilyass, Mario and aymen echab

thank you for the laughter we shared, for the moments of humor, and for all the good times that made life lighter and more joyful. The time we spent together, filled with genuine friendship and shared smiles, turned even ordinary moments into meaningful memories. I am grateful for those moments and for the positivity you brought into my life.

To DR. Yassine Laanani,

From the first years of my medical studies, you were like a big brother to me. In a new and demanding environment, your guidance, care, and constant support made a real difference. You were always there to help, advise, and reassure me when I needed it most.

Beyond that, I deeply admire your kindness and your pure heart. I respect you greatly, because having a good heart is something truly rare and precious. I sincerely wish you a life filled with happiness and fulfillment, alongside your wife and your daughter.

To Anas,

You are one of those rare people who may sit quietly, yet bring depth and presence that make them the most interesting person in the room. During our night shifts and time in the wards, your support, advice, and simple presence meant more to me than you may realize. Your help, your calm, and your sincerity were invaluable to me. Thank you for everything and for the quiet strength you shared.

To Youssef Elmhassri,

I may never have told you this before, but your presence during one of the most difficult periods of my journey is something I will always be grateful for. Your companionship made those moments feel less lonely, and your calm way of seeing things helped make everything seem lighter and more manageable. Thank you for your kindness and for your gentle, reassuring presence. May life grant you all that you wish for, for you are truly a remarkable person.

To my girlfriends, Jouhaina, Iness, Nour, Rania, and Chaïma Morau,

I would like to express my sincere gratitude for your kindness, support, and authenticity. Thank you for the moments of joy we shared, for the laughter, and for the positive energy you brought into my life throughout this journey. Your generosity, presence, and encouragement made these years lighter and far more meaningful. I am deeply thankful for your friendship, your help, and the care you showed in so many ways.

To IJJ

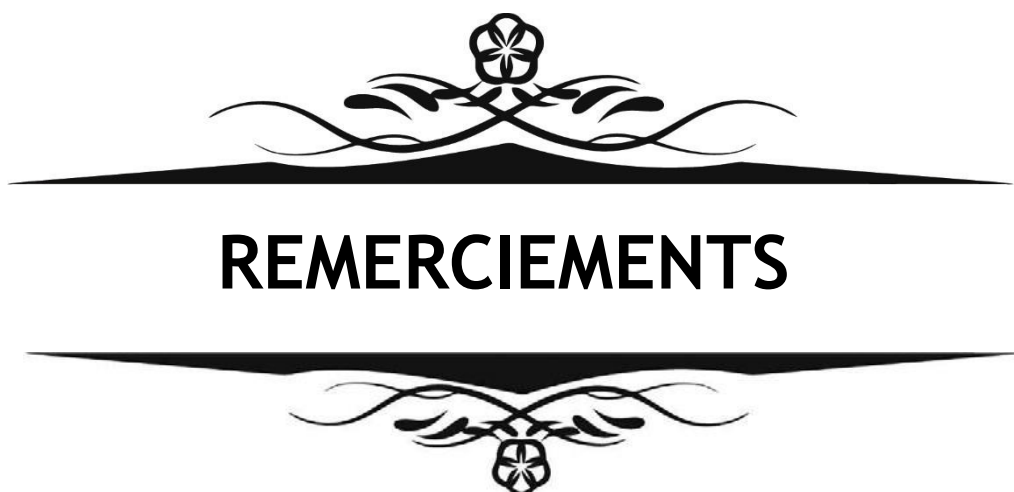
Thank you for your patience, your constant support and for all the late nights you spent helping me bring this thesis to completion .

I hold a great deal of respect for you ,not only for your help but the person you are .

To all my friends whose names are not mentioned here, and to everyone who, in any way, contributed to this journey,

please know that your support did not go unnoticed. Even if words fall short and names cannot all be written, your presence, encouragement, and kindness have left a lasting mark. I am truly grateful to each of you for being part of this path, and for the role you played in helping me reach this milestone.

You will all remain an important and cherished part of my journey and my life



REMERCIEMENTS



MONSIEUR LE GÉNÉRAL BELKACEM CHAGAR
PROFESSEUR DE CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE
ET TRAUMATOLOGIQUE
ET DIRECTEUR DE L'HÔPITAL MILITAIRE AVICENNE
DE MARRAKECH

Nous vous adressons l'expression de notre plus profonde gratitude pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de présider ce travail de thèse, malgré vos nombreuses responsabilités et un emploi du temps particulièrement chargé.

Votre gentillesse, votre bienveillance et votre disponibilité témoignent de la noblesse de votre conception du métier de médecin et d'enseignant.

Par votre engagement constant et les contributions majeures que vous avez apportées au domaine médical au Maroc, vous représentez un exemple d'intégrité, de rigueur et de dévouement auquel nous aspirons sincèrement.

Nous espérons que ces lignes témoignent de notre grand respect, de notre haute considération et de notre profonde reconnaissance envers vous.

À notre chère Maître et rapporteur de thèse : Professeur
OUALI IDRISSE Mariem, Professeur de Radiologie au
service de Radiologie CHU Mohammed VI

Nous vous adressons l'expression de notre plus profonde gratitude pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de diriger ce travail de thèse.

Dès notre premier entretien, votre grande bienveillance, votre disponibilité constante et la confiance que vous nous avez accordée en nous proposant ce sujet, que vous portez avec un attachement tout particulier, ont constitué pour nous une source majeure de motivation et d'engagement. Travailler sur un sujet qui vous tient à cœur, sous votre direction, a donné à ce travail une signification toute particulière.

Sans votre accompagnement attentif, vos efforts soutenus et votre implication sans faille, la réalisation de cette thèse n'aurait pu être envisagée. Votre excellence scientifique en radiologie, alliée à vos qualités humaines, à votre sourire et à votre humeur toujours positive, font de vous une Professeure d'exception.

Par la richesse de votre parcours, l'exemplarité de votre carrière et votre engagement constant au service de la formation médicale, vous représentez pour nous une véritable source d'inspiration et un modèle d'excellence. Nous souhaitons que ce travail puisse être considéré comme une œuvre d'aboutissement, un chant du cygne, au sens noble du terme, témoignant de l'excellence, de la transmission et de l'héritage scientifique et humain que vous incarnez si dignement.

Nous espérons que ces lignes témoignent de notre grand respect, de notre haute considération et de notre profonde reconnaissance envers vous.

*A notre Maître et Juge de Thèse Professeur CHAFIK
RACHID Professeur de chirurgie orthopédique et
traumatologie et Chef de service de chirurgie orthopédique
et traumatologie à l'hôpital Ibn Tofail de Marrakech*

*Nous vous adressons l'expression de notre plus profonde
gratitude pour l'honneur que vous nous faites en acceptant
de siéger parmi les membres du jury de ce travail de thèse.*

*Votre grande bienveillance envers les étudiants, votre
disponibilité et la qualité de votre enseignement ont
profondément marqué notre premier passage d'externat en
traumatologie dès la troisième année médicale, expérience
fondatrice qui nous a fait découvrir et aimer cette
spécialité.*

*Par votre discernement, votre exigence bienveillante et la
noblesse de votre conception du métier de médecin, vous
représentez un modèle d'intégrité et de dévouement auquel
nous aspirons sincèrement.*

*Nous espérons que ces lignes témoignent de notre grand
respect, de notre haute considération et de notre profonde
reconnaissance envers vous.*

A notre Maître et Juge de Thèse Professeur Najat CHERIF
IDRISSI EL GANOUNI
Professeur et chef du Service de Radiologie de l'hôpital
Arrazi au CHU Mohammed VI de Marrakech

Nous vous adressons l'expression de notre plus profonde gratitude pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de siéger parmi les membres du jury de ce travail de thèse.

Vos compétences professionnelles, votre sagesse et votre grande bienveillance envers les étudiants ont profondément marqué notre cursus médical et contribué de manière significative à notre formation.

Par votre exigence scientifique, vos qualités humaines et votre engagement constant au service de la radiologie et de l'enseignement médical, vous représentez un modèle de rigueur, de dévouement et d'excellence auquel nous aspirons sincèrement.

Nous espérons que ces lignes témoignent de notre grand respect, de notre haute considération et de notre profonde reconnaissance envers vous.

À maître et juge de thèse : Professeur BOUTAKIOUTE
Badr, Professeur de Radiologie au service de Radiologie
CHU Mohammed VI

Nous tenons à vous exprimer nos sincères remerciements pour l'honneur que vous nous faites en acceptant de participer au jury de ce travail de thèse.

Votre contribution au sein du service de radiologie, votre sens de la précision et la qualité de votre regard critique constituent un apport précieux à l'évaluation scientifique de ce travail.

Nous vous prions de bien vouloir trouver ici l'expression de notre profond respect, de notre haute considération et de notre reconnaissance sincère.

À Monsieur Fouzi LEKJAA
Président de la Fédération Royale Marocaine de Football

Nous vous adressons l'expression de notre profonde gratitude pour le soutien précieux que vous avez accordé à ce travail, et pour l'intérêt que vous portez au développement du football national et à la structuration de la médecine du sport de haut niveau au Maroc.

Par votre vision, votre engagement constant et votre action déterminante en faveur de l'encadrement médical du sport d'élite, vous avez contribué de manière essentielle à l'amélioration des conditions de prise en charge des sportifs de haut niveau. Grâce à votre appui et à votre confiance, la réalisation de cette étude a été rendue possible.

Nous espérons que ces lignes sauront témoigner de notre profond respect, de notre haute considération et de notre sincère reconnaissance à votre égard.

Docteur Younes CHAGAR
Le Directeur du Pôle Sport et Santé de la Fondation
Mohammed VI des Sciences et de la Santé (FM6SS)

Nous vous remercions pour votre soutien et votre engagement en faveur de la santé des sportifs et du sport de haut niveau. Grâce à votre appui et à votre accompagnement, la réalisation de ce travail a été rendue possible dans des conditions favorables, tant sur le plan scientifique qu'organisationnel.

Veillez recevoir l'expression de notre reconnaissance et de notre profond respect.

Docteur Christophe Baudot
Médecin de l'équipe nationale

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude pour votre disponibilité et votre expertise en médecine du sport, qui ont apporté une réelle valeur à ce travail. Votre implication dans le suivi médical des footballeurs et l'intérêt porté à cette étude ont permis sa réalisation dans un cadre rigoureux et adapté aux exigences du sport de haut niveau.

Nous vous exprimons notre respect et notre reconnaissance.

Professeur Najwa BENSLIMA
Ancienne cheffe du service de radiologie - Hôpital
Universitaire International Mohammed VI de Bouskoura

Nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude pour l'attention portée à ce travail et pour l'engagement manifesté au service de la radiologie. Votre professionnalisme et votre sens des responsabilités ont contribué à la réalisation de cette étude dans un cadre rigoureux et conforme aux exigences académiques.
Nous vous exprimons notre profonde gratitude et notre haute considération.

*Au service de radiologie de l'Hôpital Universitaire
International Mohammed VI de Bouskoura*

Nous adressons nos sincères remerciements à l'ensemble du service de radiologie, ainsi qu'aux personnels médicaux et paramédicaux, pour leur disponibilité et leur professionnalisme. Leur implication et leur rigueur ont contribué de manière déterminante à la réalisation de ce travail.

Nous leur exprimons notre profonde gratitude et notre haute considération.

*Docteur SEFFAR Reda
Radiologue libéral à Rabat*

*Nous vous remercions pour votre précieuse collaboration et pour la mise à disposition de dossiers médicaux ayant contribué à l'enrichissement de cette étude.
Veuillez trouver ici l'expression de notre sincère gratitude.*

À l'ensemble des Médecins du Sport du Maroc

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance à l'ensemble des médecins du sport du Maroc pour leur engagement constant au service de la santé, de la performance et du bien-être des sportifs. Ce travail se veut également un témoignage de respect et de gratitude envers leur contribution essentielle au développement de la médecine du sport dans notre pays.

Docteure Soukaina TAOUFIKI
Résidente au service de Radiologie CHU Mohammed VI
Marrakech

Nous la remercions très sincèrement pour sa grande disponibilité, son implication constante et la qualité de sa contribution scientifique à ce travail.

Par son engagement rigoureux et sa participation active à l'analyse des données d'imagerie, elle a largement contribué à l'aboutissement de cette étude.



À l'ensemble des personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation et à l'aboutissement de ce travail, par leur soutien, leur disponibilité et la qualité de leur collaboration, nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance.

À tous mes professeurs et maîtres de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Marrakech, qui ont partagé leur savoir avec une générosité lumineuse et ont guidé nos pas avec bienveillance.



LISTE DES ABRÉVIATIONS



LISTE DES ABRÉVIATIONS

AMM	: Muscle adducteur magnus
Aspetar	: <i>Aspetar Orthopaedic and Sports Medicine Hospital</i>
BAMIC	: <i>British Athletics Muscle Injury Classification</i>
BF	: Biceps fémoral
BFCC	: Biceps fémoral chef court
BFCL / BFIh	: Biceps fémoral chef long (<i>Biceps Femoris Long Head</i>)
C (INSEP)	: Atteinte conjonctive (aponévrose, fascia)
CC	: Longueur crânio-caudale
CK	: Créatine kinase
CJ / CT	: Tendon conjoint (<i>Conjoint Tendon</i>)
CSA	: Surface de section transversale (<i>Cross-Sectional Area</i>)
DOMS	: <i>Delayed Onset Muscle Soreness</i> (courbatures d'apparition retardée)
DP	: Densité de protons (<i>Proton Density</i>)
DP Fat Sat	: Séquence DP avec suppression de la graisse
EIAS	: Épine iliaque antéro-supérieure
FAT SAT	: Suppression de la graisse (<i>Fat Saturation</i>)
FCB	: <i>FC Barcelona</i> (classification FC Barcelone – Aspetar – Duke)
FDL	: Fléchisseur commun des orteils (<i>Flexor Digitorum Longus</i>)
FH	: Fléchisseur propre de l'hallux (<i>Flexor Hallucis Longus</i>)
HSC	: Hypersignal sur les séquences sensibles à l'eau
INSEP	: Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance
IRM	: Imagerie par résonance magnétique

JMT /MTJ	: Jonction myotendineuse (<i>Myotendinous Junction</i>)
JO	: Jeux Olympiques
LG	: Gastrocnémien latéral (<i>Lateral Gastrocnemius</i>)
M (INSEP)	: Atteinte musculaire
MCJ	: <i>Myoconnective Junction</i> (jonction myo-conjonctive)
MG	: Gastrocnémien médial (<i>Medial Gastrocnemius</i>)
MLS	: <i>Major League Soccer</i> (championnat professionnel nord-américain de football)
PACS	: <i>Picture Archiving and Communication System</i>
PLAC	: <i>Pyramidalis – Anterior Pubic Ligament – Adductor Longus Complex</i>
RF	: Droit fémoral (<i>Rectus Femoris</i>)
RTP	: <i>Return To Play</i> (retour au jeu)
SM	: Semi-membraneux
SMT	: Tendon intramusculaire du semi-membraneux
SN	: Nerf sciatique
ST	: Semi-tendineux
STIR	: <i>Short Tau Inversion Recovery</i>
STL	: Ligament sacro-tubéral
T1	: Séquence pondérée en T1
T2	: Séquence pondérée en T2
TP	: Tibial postérieur
UEFA	: Union of European Football Associations



INTRODUCTION	1
MATERIELS ET METHODES	4
I. Matériels	5
1. période et lieu d'étude :	5
2. Population étudiée :	5
II. Méthodes :	6
1. Recueil des données :	6
2. IRM des groupes musculaires du membre inférieur :	6
3. Analyse statistique	6
4. Aspects éthiques	7
5. Analyse bibliographique	7
RESULTATS	8
I. Données épidémiologiques :	9
1. Âge :	9
2. Sexe :	10
3. Répartition selon la latéralité dominante	10
4. Répartition selon le niveau sportif :	11
5. Répartition selon la charge d'entraînement :	11
II. Données cliniques	12
1. Antécédents :	12
2. Circonstances de survenue :	14
3. Examen clinique :	16
III. Paramètres étudiés à l'IRM :	19
1. Délai post-traumatique avant réalisation de l'IRM :	19
2. Séquences IRM réalisées :	19
3. Topographie lésionnelle :	20
4. Anomalies de signal	44
5. Anomalies lésionnelles :	48
6. Estimation de la taille de la lésion :	50
7. Classifications des lésions :	52
IV. Associations entre l'hématome clinique et la sévérité lésionnelle :	57
DISCUSSION	59
I. Rappels anatomiques du membre inférieur	60
A. Squelette du Membre Inférieur	60
1. Ceinture pelvienne et os coxal	60
2. Fémur	60
3. Tibia et fibula	61
4. Pied	61
B. Articulations du Membre Inférieur	63
1. Articulation coxo-fémorale	63
2. Articulation du genou	63

3. Articulations de la cheville et du pied	63
C. Groupes Musculaires du Membre Inférieur	64
1. Ischio-jambiers	65
2. Quadriceps :	70
3. Adducteurs	77
4. Groupe musculaire du mollet (Triceps sural)	82
5. Vascularisation du Membre Inférieur :	87
6. Innervation du Membre Inférieur	87
II. Structure et fonction du muscle :	88
1. Organisation structurale du muscle	88
2. Rôle du tendon, de l'aponévrose et de la jonction myotendineuse	89
3. Types de fibres musculaires et rôle dans l'effort explosif	91
4. Fonction dynamique du muscle lors des gestes sportifs	91
5. Synthèse	92
III. Mécanismes et biomécanique des lésions musculaires chez les footballeurs de haut niveau	93
1. Mécanismes lésionnels	93
2. Analyse biomécanique des muscles à risque :	96
3. Biomécanique spécifique selon les groupes musculaires :	97
4. Facteurs de risque biomécaniques et contextuels :	98
5. Données épidémiologiques et interprétation clinique	100
IV. Données épidémiologiques	100
1. Age	100
2. sexe :	102
3. Latéralité dominante	103
4. La charge d'entraînement	104
V. Circonstances de survenue	104
1. Type de traumatisme	104
2. Contexte de survenue	105
VI. Données cliniques	106
1. Les antécédents	106
2. Examen clinique	107
VII. Apport de l'IRM dans l'exploration des lésions musculaires	110
1. Délai post-traumatique avant réalisation de l'IRM :	110
2. Technique IRM	112
3. Apport de l'IRM dans l'exploration des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau	115
4. Radio anatomie musculaire normale :	117
5. Indications de l'IRM chez le footballeur de haut niveau :	124
6. Images pièges en IRM :	125
VIII. IRM des lésions musculaires	127
1. Lésions élémentaires musculaires :	127
2. La topographie des lésions musculaires	129
3. Les structures anatomiques associées aux lésions structurelles	143

4. Anomalies de signal IRM	144
5. La désorganisation des fibres musculaires :	147
6. Anomalies lésionnelles en IRM	148
7. Estimation de la taille des lésions musculaires	150
8. Classifications des lésions musculaires :	152
9. Surveillance IRM des lésions musculaires	163
10. Complications des lésions musculaires	164
IX. Analyse des associations entre données clinico-radiologiques et sévérité lésionnelle :	169
1. Marqueurs cliniques et radiologiques significativement associés à la sévérité	169
2. Variables non significativement associées à la sévérité : interprétation	170
3. Apport global de l'analyse des associations	171
X. IRM et Return To Play (RTP)	171
1. Facteurs IRM prédictifs du délai de retour du jeu	171
2. Intérêt des classifications IRM dans le RTP	173
3. Place de l'IRM dans la décision de reprise sportive	174
XI. Limites de l'IRM :	175
XII. IRM et intelligence artificielle :	176
Limites de l'étude	178
PERSPECTIVES	181
CONCLUSION	184
RÉSUMÉS	186
ANNEXE	193
BIBLIOGRAPHIE	201

يُؤْتِي الْحِكْمَةَ مَنْ يَشَاءُ وَمَنْ يُؤْتَ الْحِكْمَةَ فَقَدْ أُوتِيَ خَيْرًا كَثِيرًا



سورة البقرة : الآية ٢٦٩

« Dieu accorde la sagesse à qui Il veut, et celui à qui la sagesse est
accordée a certes reçu un immense bien. »



INTRODUCTION



Les lésions musculaires constituent une cause majeure d'arrêt sportif chez les footballeurs professionnels, représentant entre 30 et 55 % des blessures enregistrées au cours d'une saison [1,2].

Elles touchent principalement les muscles de la cuisse, particulièrement sollicités lors des efforts explosifs propres au football de haut niveau [1,3].

Ces lésions ont un impact médico-sportif et économique majeur, affectant à la fois la performance individuelle, la dynamique collective, le risque de récurrence et le délai de retour à la compétition (RTP) [1,2,4,5].

Ces constats soulignent la nécessité d'une prise en charge diagnostique rapide et rigoureuse, fondée sur l'imagerie, afin d'optimiser la récupération et le retour au jeu chez les footballeurs de haut niveau.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) s'est imposée comme l'examen de référence pour l'exploration des lésions musculaires du sportif [2,3,6]. Grâce à sa haute résolution anatomique, l'IRM permet une évaluation précise des lésions musculaires et de leur gravité, et joue un rôle pronostique majeur dans l'estimation de la durée d'indisponibilité et la reprise du jeu [7,9].

Au Maroc, le football connaît un essor remarquable, marqué par la progression constante des clubs nationaux dans les compétitions africaines et par les performances internationales de l'équipe nationale.

Cet élan s'appuie sur une volonté gouvernementale affirmée de promouvoir le sport de haut niveau, à travers la création de centres de performance et de suivi médico-sportif équipés de technologies d'imagerie avancées.

L'évaluation de l'apport de l'IRM dans ce cadre s'avère essentielle pour améliorer la compréhension des lésions musculaires, optimiser la prise en charge des footballeurs

marocains et renforcer les compétences nationales et internationales en imagerie et en médecine du sport.

Objectifs du travail :

Ce travail vise à :

- Évaluer l'apport de l'IRM dans l'exploration des lésions musculaires chez les footballeurs de haut niveau ;
- Décrire les aspects sémiologiques et morphologiques observés en IRM selon les classifications reconnues ;
- Comparer les données obtenues aux résultats rapportés dans la littérature internationale ;
- Proposer des outils pédagogiques et de formation destinés aux professionnels de santé marocains, afin de renforcer leurs compétences en imagerie musculaire et en médecine du sport.



MATERIELS ET METHODES



I. Matériels

1. Période et lieu d'étude :

Il s'agit d'une étude prospective descriptive, menée sur une période de six mois, portant sur une série de footballeurs professionnels. Cette étude a été réalisée au service de radiologie du CHU Mohammed VI de Marrakech, tandis que les examens d'IRM des participants ont été effectués au service de radiologie de l'Hôpital Universitaire International Mohammed VI de Bouskoura ainsi qu'au Centre Radiologique Ibn Rochd de Rabat.

2. Population étudiée :

L'étude a concerné des footballeurs professionnels appartenant à des clubs marocains ainsi qu'aux sélections nationales, adressés pour suspicion de lésion musculaire du membre inférieur et ayant bénéficié d'une imagerie par résonance magnétique (IRM) dans le cadre du bilan diagnostique et répondant aux critères d'inclusion et d'exclusion suivants :

2.1. Critères d'inclusion :

- Les footballeurs de haut niveau, membres actifs de clubs professionnels marocains ou de la sélection nationale.
- Âgés de 18 à 40 ans.
- Présentant une lésion musculaire aiguë du membre inférieur, survenue lors de la pratique du football (match, entraînement, compétition).
- Ayant bénéficié d'une IRM musculaire selon le protocole en vigueur dans le service.

2.2. Critères d'exclusion :

- Les joueurs amateurs ou non licenciés dans un club professionnel au moment de la blessure.
- Les sujets âgés de moins de 18 ans ou de plus de 40 ans.
- Les patients ayant bénéficié d'une IRM pour une autre indication (pathologie tumorale, infectieuse, rhumatismale ou post-opératoire).

- Les examens IRM de qualité insuffisante ou incomplets, ne permettant pas une analyse fiable.

II. Méthodes :

1. Recueil des données :

La collecte des données a été effectuée à partir :

- Des dossiers médicaux du service de radiologie de de l'Hôpital Universitaire International Mohammed VI de Bouskoura.
- Des dossiers médicaux issus du cabinet du Dr Seffar Reda, radiologue libéral à Rabat, au sein du centre de radiologie Ibnou Rochd.
- Des archives iconographiques numériques PACS (Software, Syngo Plaza).

Une fiche d'exploitation standardisée a permis de recueillir les informations démographiques (âge, sexe, niveau sportif), cliniques (mécanisme du traumatisme, signes fonctionnels, antécédents) et radiologiques (résultats IRM).

2. IRM des groupes musculaires du membre inférieur :

2.1 Appareil d'IRM :

Les examens ont été réalisés sur deux appareils d'IRM : un Siemens Magnetom Flow Ace G60 et un appareil Philips, utilisant des antennes de surface dédiées.

2.2 Séquences et plans :

Le protocole standardisé comprenait :

- Séquences DP FAT SAT axial, sagittal et coronal.
- Séquences T2 Stir axial et coronal.
- Séquences axiale et coronale T1.

3. Analyse statistique

Les données ont été saisies et analysées à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2021.

- Les variables qualitatives ont été décrites en effectifs (n) et en pourcentages (%).
- Les variables quantitatives ont été décrites par la moyenne et l'écart-type (moyenne $\pm$ écart-type).

- Les comparaisons entre variables qualitatives ont été réalisées à l'aide du test du χ^2 , ou du test exact de Fisher lorsque les effectifs théoriques étaient insuffisants.
- Seuil de significativité : une valeur $p < 0,05$ a été considérée comme statistiquement significative.
- La comparaison des moyennes a été effectuée à l'aide du test t de Student.

Compte tenu de la taille limitée de l'échantillon, les analyses statistiques étaient essentiellement descriptives et exploratoires.

4. Aspects éthiques

L'anonymat et la confidentialité des patients ont été respectés.

L'accès aux données a été limité aux investigateurs.

5. Analyse bibliographique

La revue de la littérature a été réalisée à partir d'articles scientifiques disponibles sur PubMed, ScienceDirect et SpringerLink.

La gestion de la bibliographie a été assurée par Zotero (version 7.0.15).



RESULTATS



I. Données épidémiologiques

1. Âge

Notre étude comptait 37 joueurs, avec des âges allant de 19 à 34 ans, et un âge moyen de 25,05 ans ($\pm 4,26$).

On a noté une prédominance des joueurs âgés de 23 à 27 ans, représentant 43,2 % de l'effectif, suivie par la tranche des ≤ 22 ans (29,7 %). Cette distribution est illustrée dans le tableau ci-dessous. (Figure 1, Tableau 1)

Tableau 1 : Répartition des footballeurs de haut niveau selon la tranche d'âge.

Tranche d'âge	Nombre de patients	Pourcentage
≤ 22 ans	11	29,7%
23-27 ans	16	43,2%
28-32 ans	8	21,6%
> 32 ans	2	5,4%

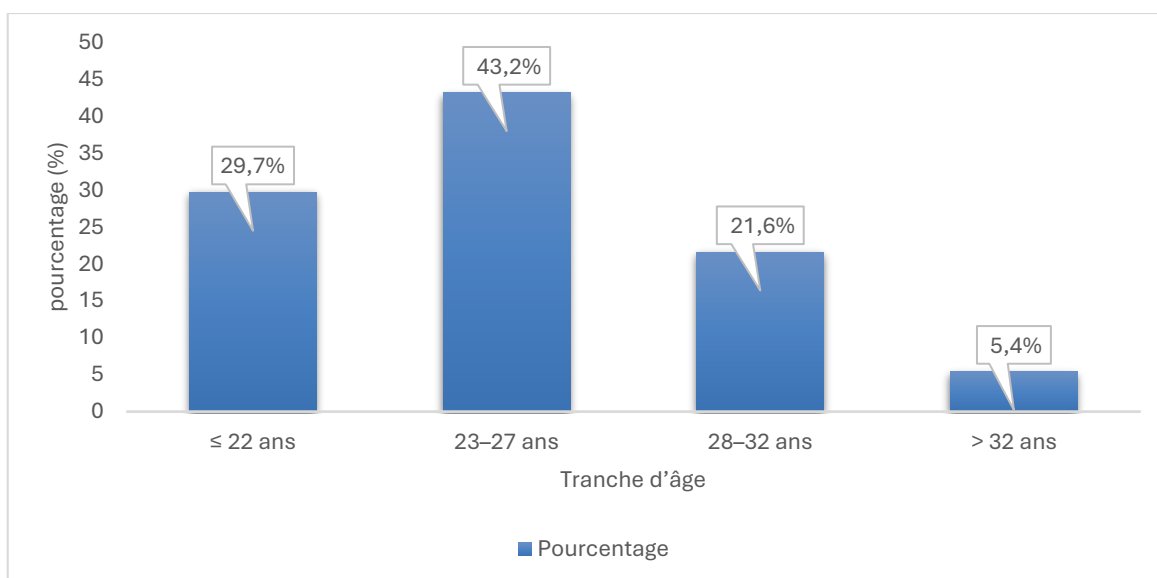


Figure 1 : Distribution des joueurs en fonction des tranches d'âge.

2. Sexe

Notre étude dénombrait au total 6 femmes et 31 hommes, avec une prédominance masculine, soit 83,8 % de la population. (Figure 2).

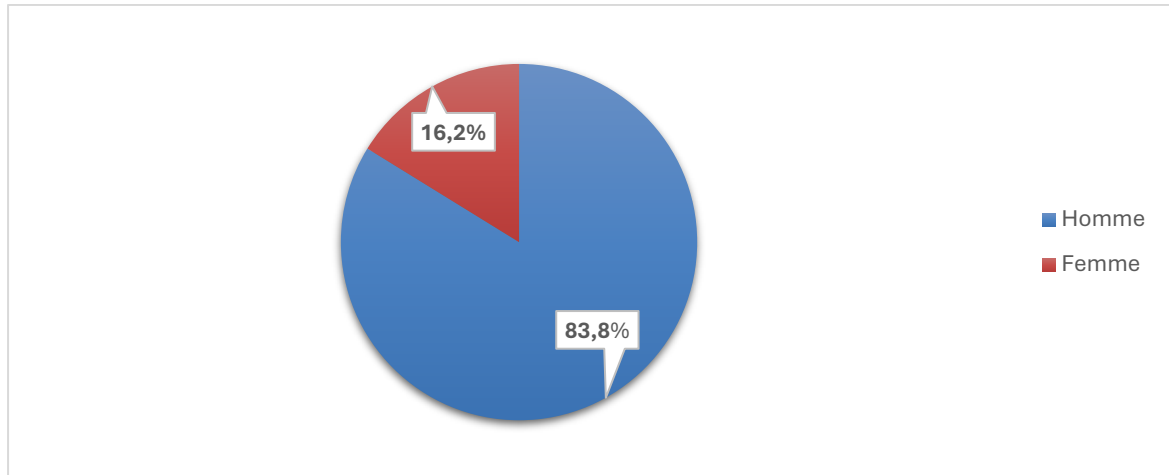


Figure 2 : Répartition des footballeurs de haut niveau selon le sexe.

3. Répartition selon la latéralité dominante

Dans notre série, la répartition selon la latéralité dominante montre une prédominance nette des droitiers. Parmi les 37 patients étudiés, 30 étaient droitiers, soit 81,1 %, contre 7 gauchers, représentant 18,9 % de l'effectif total. (Figure 3).

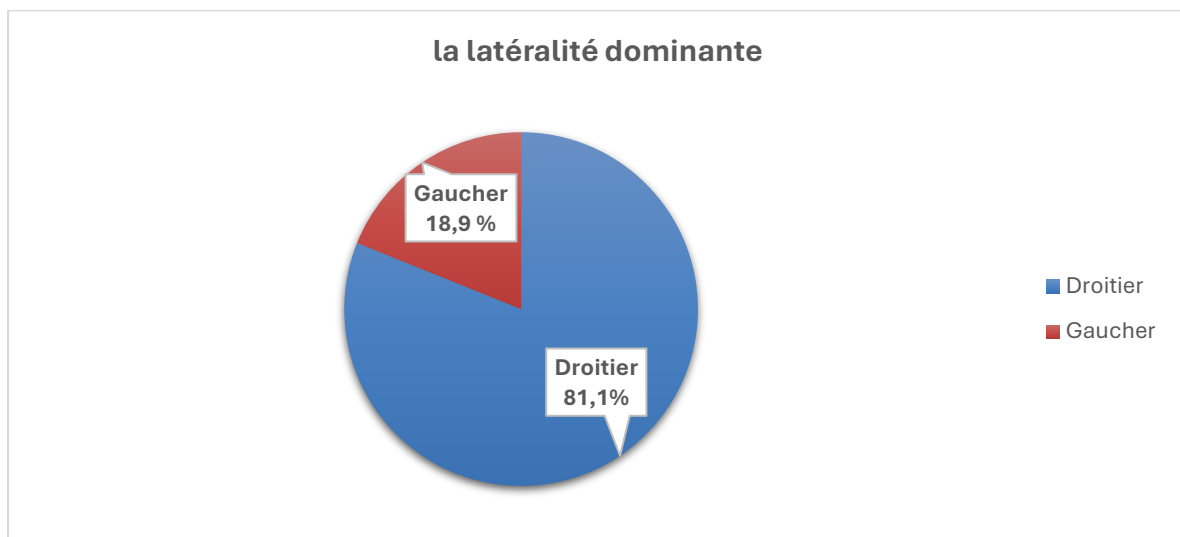


Figure 3 : Distribution des joueurs selon la latéralité dominante.

4. Répartition selon le niveau sportif

L'analyse de la répartition des footballeurs selon leur niveau sportif révèle que l'ensemble des participants ($n = 37$) appartiennent à la catégorie "Élite". Cela représente 100 % de l'échantillon étudié, confirmant que cette étude se concentre exclusivement sur des athlètes de haut niveau. (Figure 4).



Figure 4 : Répartition des footballeurs de haut niveau selon le niveau sportif.

5. Répartition selon la charge d'entraînement

L'analyse de la charge d'entraînement hebdomadaire des footballeurs inclus dans l'étude ($n = 37$) révèle une moyenne de 10,8 heures par semaine, avec une médiane de 11 heures. Les valeurs extrêmes s'étendent de 9 à 13 heures par semaine. (figure 5, tableau 2)

Tableau 2: Répartition des footballeurs de haut niveau selon la charge d'entraînement hebdomadaire.

Heures d'entraînement par semaine	Nombre des joueurs	Pourcentage
9	5	13,5%
10	12	32,4%
11	8	21,6%
12	11	29,7%
13	1	2,7%
Total	37	100%

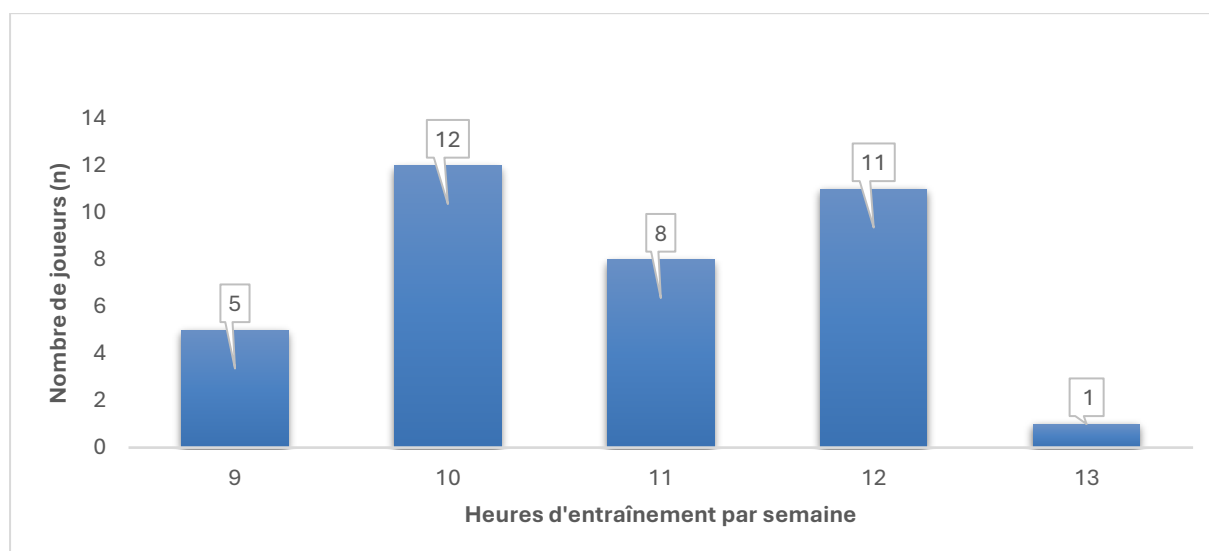


Figure 5 : Distribution des joueurs en fonction du nombre d'heures d'entraînement par semaine.

II. Données cliniques

1. Antécédents

1.1. Antécédents musculaires antérieurs

Dans notre série, 16 joueurs (43,2 %) présentaient des antécédents musculaires antérieurs, tandis que 21 joueurs (56,8 %) n'avaient jamais présenté de blessure musculaire (Figure 6, Tableau 3).

Parmi les joueurs ayant des antécédents musculaires ($n = 16$), les ischio-jambiers étaient les plus fréquemment touchés avec 50 % des cas, suivis des adducteurs (25 %), des quadriceps (18,8 %) et du mollet (6,3 %) (Figure 7, Tableau 4).

Tableau 3 : Répartition des joueurs en fonction de leurs antécédents musculaires antérieurs.

Antécédents musculaires	Nombre de joueurs	Pourcentage
Joueurs avec antécédents musculaires antérieurs	16	43,2 %
Joueurs sans antécédents musculaires antérieurs	21	56,8 %
Total	37	100 %

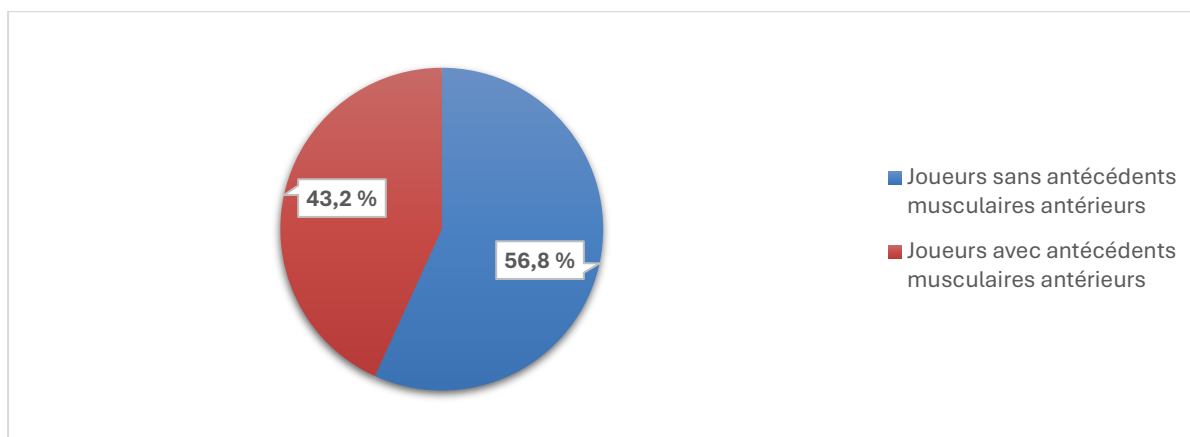


Figure 6 : Répartition des joueurs en fonction de leurs antécédents musculaires (n = 37).

Tableau 4: Répartition des antécédents musculaires antérieurs selon les groupes musculaires

Les groupes musculaires	Avec ATCD musculaire (n)	Pourcentage
Ischio-jambiers	8	50 %
Adducteurs	4	25 %
Quadriceps	3	18,8 %
Mollet	1	6,3 %
Total	16	100 %

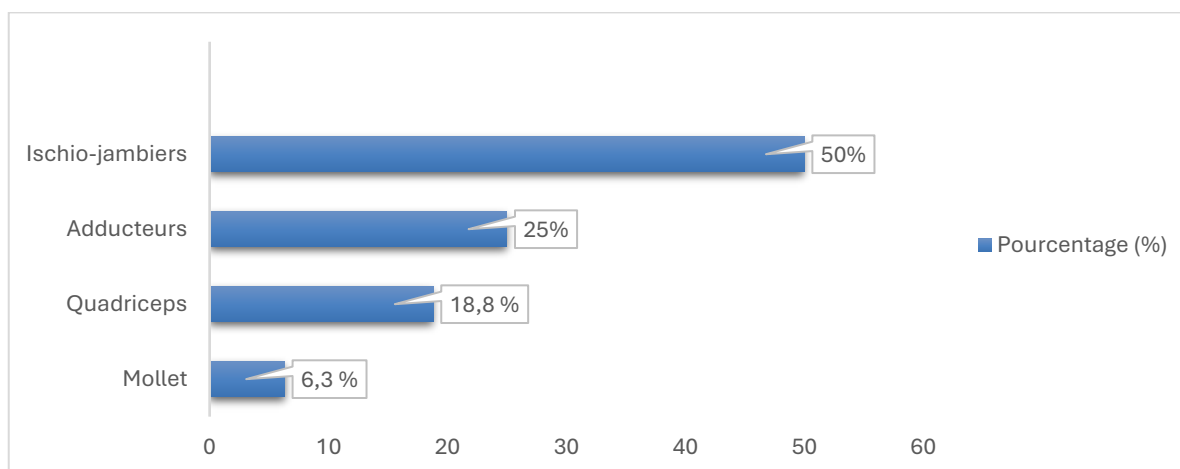


Figure 7 : Répartition des antécédents musculaires antérieurs selon les groupes musculaires chez les joueurs concernés (n = 16).

1.2. Autres antécédents médicaux

Dans notre étude, 3 footballeurs, soit 8,1 %, présentaient des antécédents de tendinopathies. Par ailleurs, 2 footballeurs (5,4 %) étaient sous traitement au moment du traumatisme. Aucun cas de fracture antérieure ni de chirurgie antérieure n'a été observé dans notre série. (Tableau 5)

Tableau 5 : Répartition des autres antécédents médicaux antérieurs (n = 37).

Type d'antécédent	Nombre de footballeurs (n)	Pourcentage
Tendinopathies	3	8,1 %
Fracture antérieure	0	0 %
Chirurgie antérieure	0	0 %
Traitement en cours	2	5,4 %

2. Circonstances de survenue

2.1 Type de traumatisme

Dans notre série, l'ensemble des lésions recensées étaient d'origine intrinsèque, représentant 100 % des traumatismes observés (n = 37). Aucun traumatisme extrinsèque n'a été rapporté. (Figure 8).

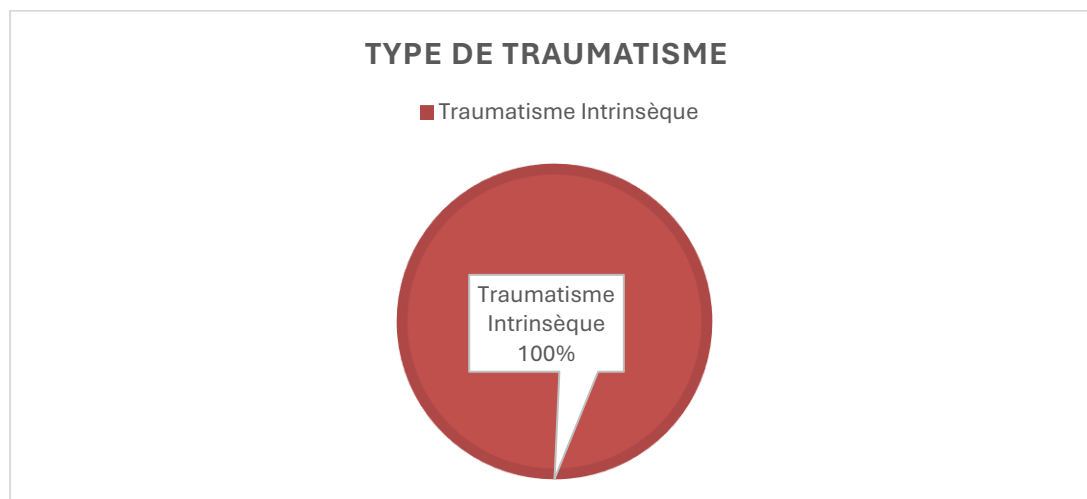


Figure 8 : Répartition des lésions selon le type de traumatisme.

2.2 Contexte de survenue

Dans notre étude la majorité des lésions est survenue en situation de match, représentant 62,2 % des cas ($n = 23$), tandis que les traumatismes enregistrés à l'entraînement ne comptaient que pour 37,8 % ($n = 14$). (Figure 9,Tableau 6).

Tableau 6: Répartition des lésions selon le contexte de survenue chez les footballeurs.

Contexte de survenue	Nombre de footballeurs (n)	Pourcentage
Entraînement	14	37,8 %
Match	23	62,2 %
Total	37	100 %

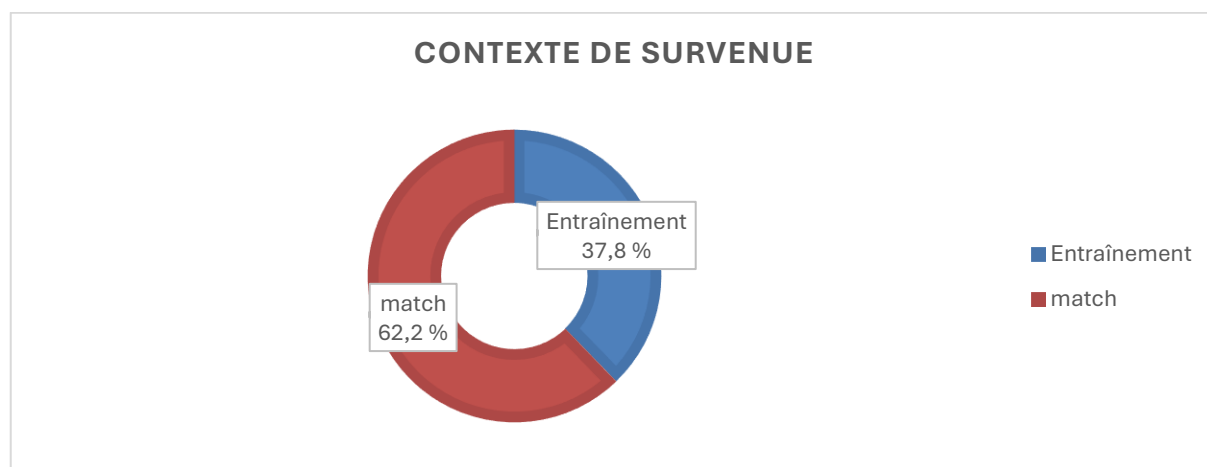


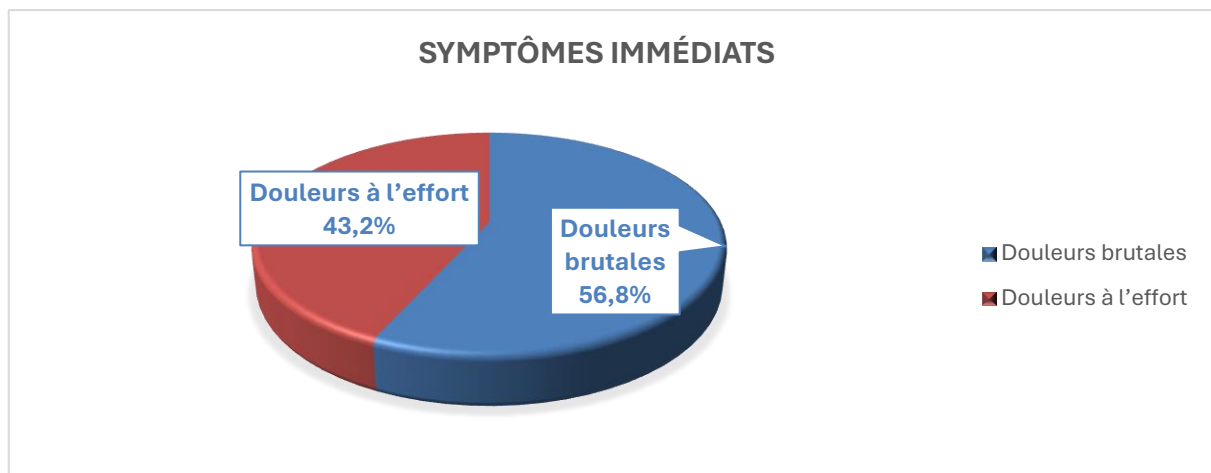
Figure 9 : Contexte de survenue des lésions musculaires chez les footballeurs.

2.3 Symptômes immédiats

Dans notre cohorte, Les douleurs brutales constituaient la présentation immédiate la plus fréquente, retrouvées chez 56,8 % des footballeurs ($n = 21$). les douleurs à l'effort étaient moins représentées, avec 43,2 % des cas ($n = 16$). (Figure 10, Tableau 7).

Tableau 7 : Répartition des symptômes immédiats rapportés par les footballeurs (n = 37).

Symptômes immédiats	Nombre (n)	Pourcentage
Douleurs brutales	21	56,8 %
Douleurs à l'effort	16	43,2
Total	37	100 %

**Figure 10 : Répartition des symptômes immédiats chez les footballeurs de la cohorte.**

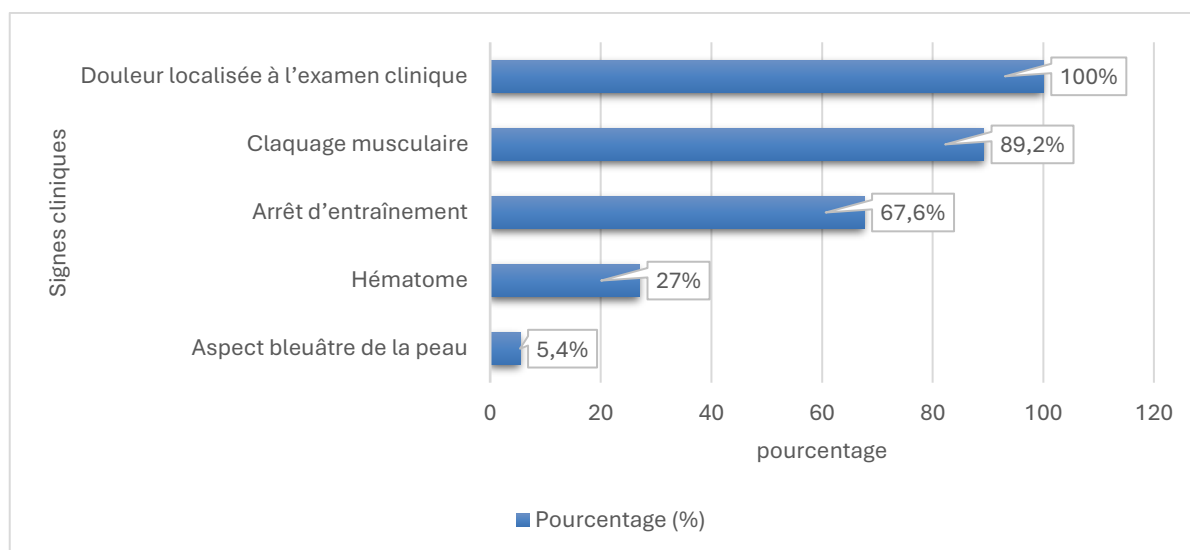
3. Examen clinique

3.1 Signes cliniques

Les signes cliniques observés dans notre étude incluent une douleur localisée à l'examen clinique, présente chez l'ensemble des 37 footballeurs (100 %). Un claquage musculaire a été retrouvé chez 33 d'entre eux (89,2 %). L'arrêt de l'entraînement a concerné 25 footballeurs (67,6 %). Un hématome était constaté chez 10 sujets (27,0 %), tandis qu'un aspect bleuâtre de la peau n'a été observé que chez 2 footballeurs (5,4 %). L'ensemble de ces manifestations témoigne de la diversité des présentations cliniques associées aux lésions musculaires dans cette population sportive. (Figure 11, Tableau 8).

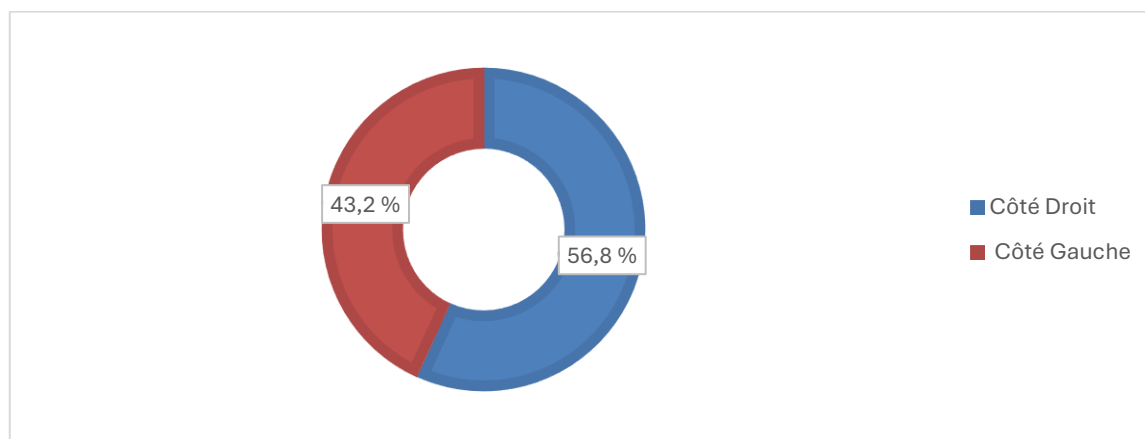
Tableau 8 : Signes cliniques observés chez les footballeurs (n = 37).

Signes cliniques	Nombre de footballeurs (n)	Pourcentage
Douleur localisée à l'examen clinique	37	100%
Claquage musculaire	33	89,2 %
Arrêt d'entraînement	25	67,6 %
Hématome	10	27%
Aspect bleuâtre de la peau	2	5,4 %

**Figure 11 : Répartition des signes cliniques observés chez les footballeurs.**

3.2 Côté atteint

Nous avons noté dans notre série une légère prédominance de l'atteinte du membre inférieur droit, retrouvée chez 56,8 % des footballeurs (n = 21), tandis que l'atteinte du côté gauche concernait 43,2 % des cas (n = 16). (Figure 12).

**Figure 12 : Répartition des joueurs selon le côté du membre inférieur atteint .**

3.3 Région musculaire atteinte

Dans notre série, la région la plus fréquemment atteinte était la loge postérieure de la cuisse, impliquée dans 35,1 % des cas ($n = 13$). La loge antéro-interne et la région inguinale représentait également une proportion notable des lésions, avec 32,4 % ($n = 12$). Les atteintes de la loge antérieure de la cuisse étaient observées dans 21,6 % des situations ($n = 8$). Enfin, la loge postérieure de la jambe (mollet) était concernée dans 10,8 % des cas ($n = 4$). (Figure 13, Tableau 9).

Tableau 9 : Répartition selon la région musculaire atteinte ($n = 37$).

Région musculaire atteinte	Fréquence	Pourcentage
Loge postérieure de la cuisse	13	35,1%
Loge antérieure de la cuisse	8	21,6%
Loge antéro interne de la cuisse et région inguinale	12	32,4%
Loge postérieure de la jambe (mollet)	4	10,8%
Total	37	100%

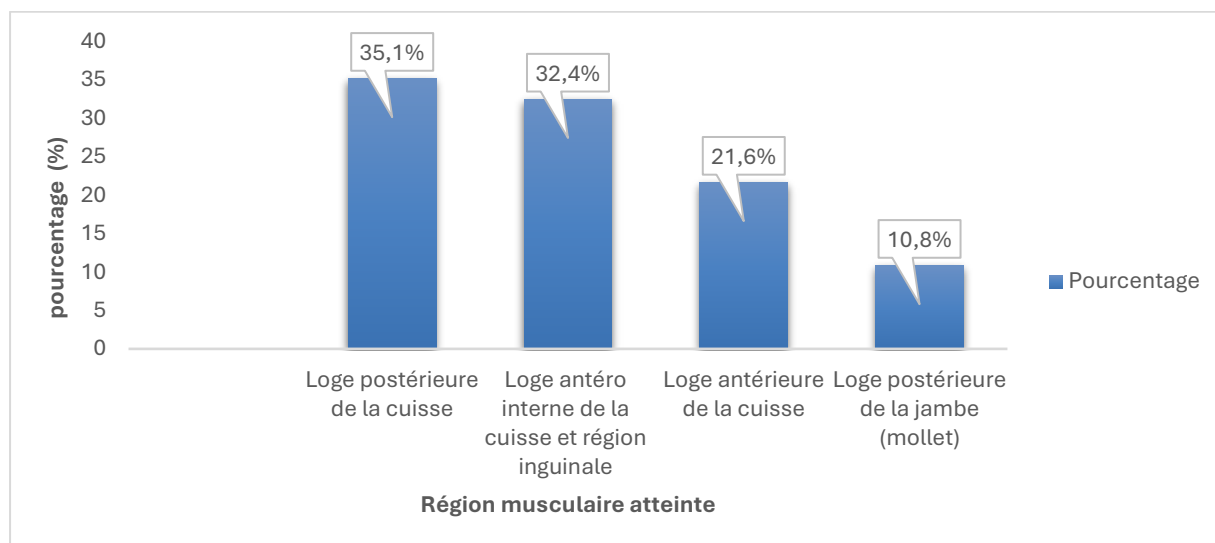


Figure 13 : Répartition des lésions musculaires selon la région anatomique atteinte chez les footballeurs ($n = 37$).

III. Paramètres étudiés à l'IRM

1. Délai post-traumatique avant réalisation de l'IRM

Le délai de réalisation de l'IRM variait entre 2 et 5 jours, avec un délai moyen de $3,00 \pm 0,74$ jours et une médiane de 3 jours. Dans notre série, 9 joueurs ont bénéficié de l'examen à J2, tandis que 23 ont été explorés à J3, représentant la majorité de la cohorte (62,2 %). Les délais plus prolongés étaient rares, avec 4 examens réalisés à J4 (10,8 %) et un seul à J5 (2,7 %) . (Figure 14, Tableau 10).

Tableau 10 : Répartition des délais de réalisation de l'IRM.

Délai (jours)	Effectif (n)	Pourcentage
2 jours	9	24,3 %
3 jours	23	62,2 %
4 jours	4	10,8 %
5 jours	1	2,7 %
Total	37	100 %

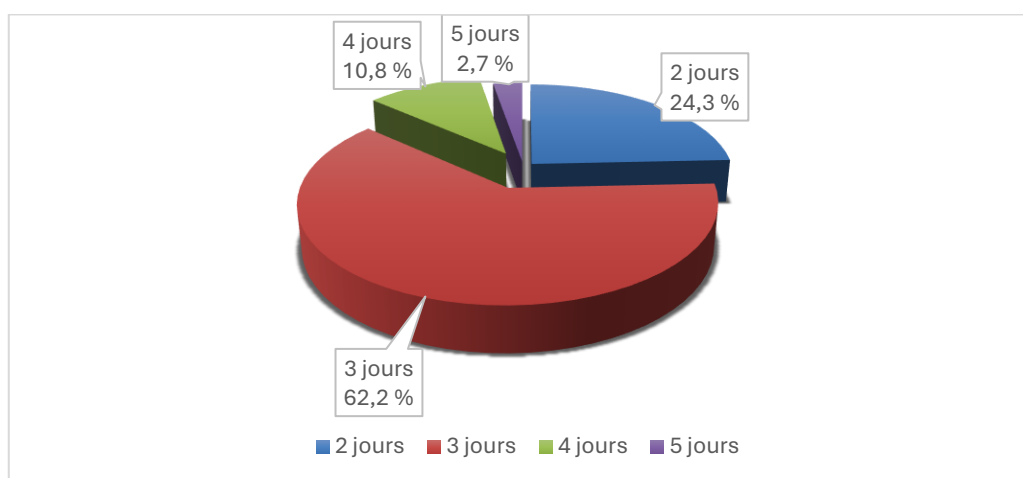


Figure 14 : Répartition des délais de réalisation de l'IRM post-traumatisme.

2. Séquences IRM réalisées

Dans notre étude, l'exploration IRM reposait sur un protocole standardisé comprenant plusieurs séquences. Les séquences T1 en coupes coronales ont été réalisées chez l'ensemble des footballeurs (37 cas, 100 %). Les séquences DP Fat Sat, acquises dans les deux plans de l'espace, ont également été obtenues dans tous les examens (100 %). Enfin, les séquences T2

STIR en coupes axiales et coronales ont été effectuées de manière systématique sur les 37 cas (100 %), tandis que les coupes sagittales ont été réalisées chez 19 patients, soit 51,4 %.(Figure 15, Tableau 11).

Tableau 11 : Répartition des séquences et des plans d'acquisition IRM utilisés dans l'exploration des lésions musculaires.

Séquence IRM	Plans réalisés	Effectif (n)	Pourcentage
T1	Coronal	37	100 %
DP Fat SAT	Axial, Coronal	37	100 %
T2 STIR	Axial, Coronal	37	100 %
T2 STIR	Sagittal	19	51,4%

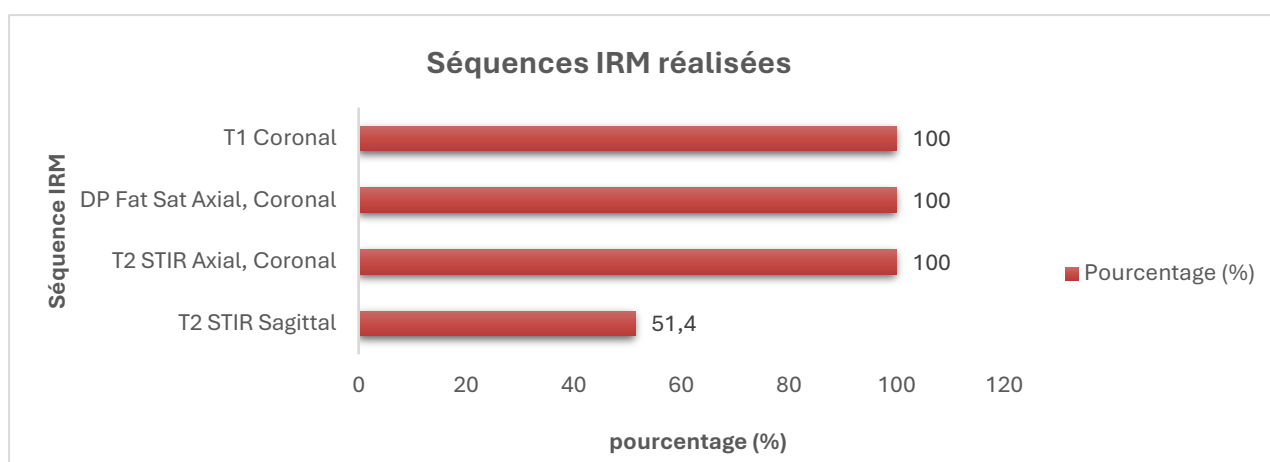


Figure 15 : Fréquence des séquences IRM utilisées dans notre étude.

3. Topographie lésionnelle

3.1 Répartition selon le groupe musculaire atteint

Dans notre série, la répartition des lésions selon le groupe musculaire atteint montre une prédominance des atteintes des ischio-jambiers, représentant 35,1 % des cas (13 joueurs). Les adducteurs occupent la deuxième position avec 27,0 % (10 joueurs). Les quadriceps étaient impliqués dans 21,6 % des cas (8 footballeurs), tandis que les lésions du mollet ont été relevées dans 10,8 % de la cohorte (4 cas). Enfin, les autres muscles représentaient 5,4 % des atteintes (2 cas). (Tableau 12).

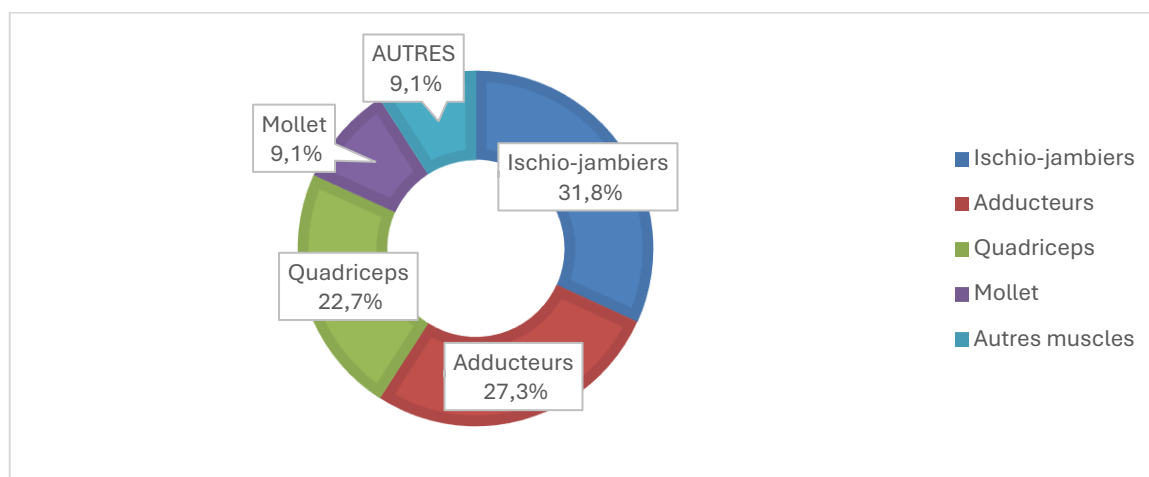
TABEAU 12 : Répartition des groupes musculaires sur l'ensemble de la cohorte (N = 37).

Groupe musculaire	Nombre (n)	Pourcentage
Ischio-jambiers	13	35,1 %
Adducteurs	10	27,0 %
Quadriceps	8	21,6 %
Mollet	4	10,8 %
Autres muscles	2	5,4 %
Total	37	100 %

En ne considérant que les lésions structurales identifiées à l'IRM (hypersignal T2 associé à un grade supérieur à 0), 22 joueurs étaient concernés. Parmi eux, 31,8 % présentaient une atteinte des ischio-jambiers (7 cas). Les adducteurs étaient impliqués dans 27,3 % des situations (6 cas). Les quadriceps représentaient 22,7 % des cas (5 joueurs). Les lésions du mollet et celles des autres muscles étaient observées chacune dans 9,1 % des cas (2 joueurs pour chaque groupe). (Figure 16, Tableau 13).

TABEAU 13 : Répartition des groupes musculaires en ne considérant que les lésions structurales IRM (n=22).

Groupe musculaire	Nombre (n)	Pourcentage (%)
Ischio-jambiers	7	31,8 %
Adducteurs	6	27,3 %
Quadriceps	5	22,7 %
Mollet	2	9,1 %
Autres muscles	2	9,1 %
Total	22	100 %

**Figure 16 : Distribution des groupes musculaires atteints chez les joueurs présentant des lésions structurales à l'IRM.**

3.2 Les ischio-jambiers

3.2-1 La répartition des muscles atteints au sein du groupe musculaire des ischio-jambiers

Parmi les joueurs présentant une lésion structurelle des ischio-jambiers à l'IRM (n = 7), les atteintes concernaient principalement le long biceps, retrouvé chez 5 joueurs, soit 71,4 % des cas. Le semi-membraneux était impliqué chez 2 joueurs (28,6 %). Le court biceps et le semi-tendineux étaient chacun touchés chez 1 joueur (14,3 %).

Il convient de noter qu'un même joueur pouvait présenter plusieurs muscles atteints simultanément, expliquant que la somme des pourcentages dépasse 100 %. (Figure 17, Tableau 14).

Tableau 14 : Répartition des muscles atteints au sein du groupe musculaire des ischio-jambiers chez les joueurs présentant une lésion structurelle à l'IRM (n = 7).

Muscle des ischio-jambiers	Nombre de joueurs atteints (n)	Pourcentage (%)
Long biceps	5	71,4 %
Semi-membraneux	2	28,6 %
Court biceps	1	14,3 %
Semi-tendineux	1	14,3 %

Note : Le nombre total d'atteintes musculaires (n = 9) est supérieur au nombre de joueurs présentant une lésion structurelle des ischio-jambiers (n = 7), car un même joueur peut présenter plusieurs muscles atteints simultanément.

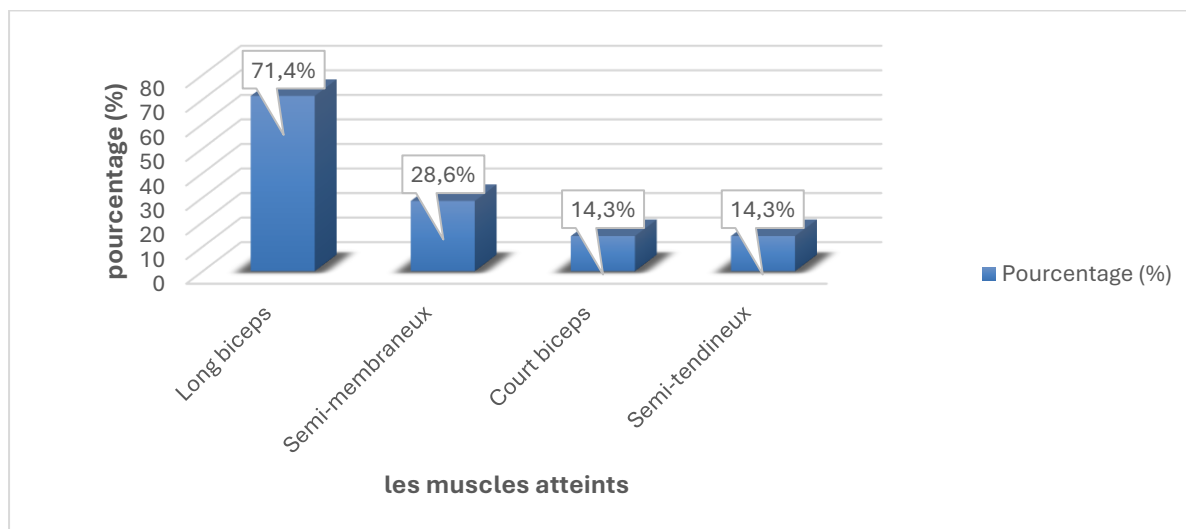


Figure 17 : Répartition des muscles atteints au sein du groupe des ischio-jambiers (n = 7).

3.2-2 Répartition selon les sièges lésionnels

L'analyse des lésions structurelles des ischio-jambiers met en évidence une prédominance des atteintes aponévrotiques et myo-aponévrotiques, représentant 8 des 18 sites lésionnels recensés. Les atteintes tendineuses pures étaient moins fréquentes, avec trois lésions impliquant le tendon conjoint proximal et le tendon libre proximal du long biceps. Les lésions situées au niveau de la jonction myotendineuse constituaient également un site lésionnel important, avec quatre localisations, principalement au sein du complexe du biceps fémoral, comprenant des atteintes de la jonction moyenne (Figure 20) et des jonctions distales en T. (Figure 18, Tableau 15).

Tableau 15 : Sites lésionnels au niveau des ischio-jambiers (lésions structurelles IRM).

Site lésionnel au niveau des ischio-jambiers	Nombre de lésions (n)
Partie proximale du tendon : tendon conjoint proximal	1
Tendon libre proximal du long biceps	2
Jonction myo-tendineuse moyenne du long biceps	2
Jonction myo-tendineuse distale (en T) du long biceps	1
Aponévrose périphérique du court biceps	1
Jonction myo-tendineuse distale (en T) du court biceps	1
Aponévrose proximale du semi-membraneux	1
Ramifications conjonctives du semi-membraneux	2
Fibres musculaires du semi-membraneux	1
Jonction myo-aponévrotique du semi-membraneux	2
Atteinte mixte du semi-membraneux	1
Ramifications conjonctives du semi-tendineux	1
Total des lésions recensées	16

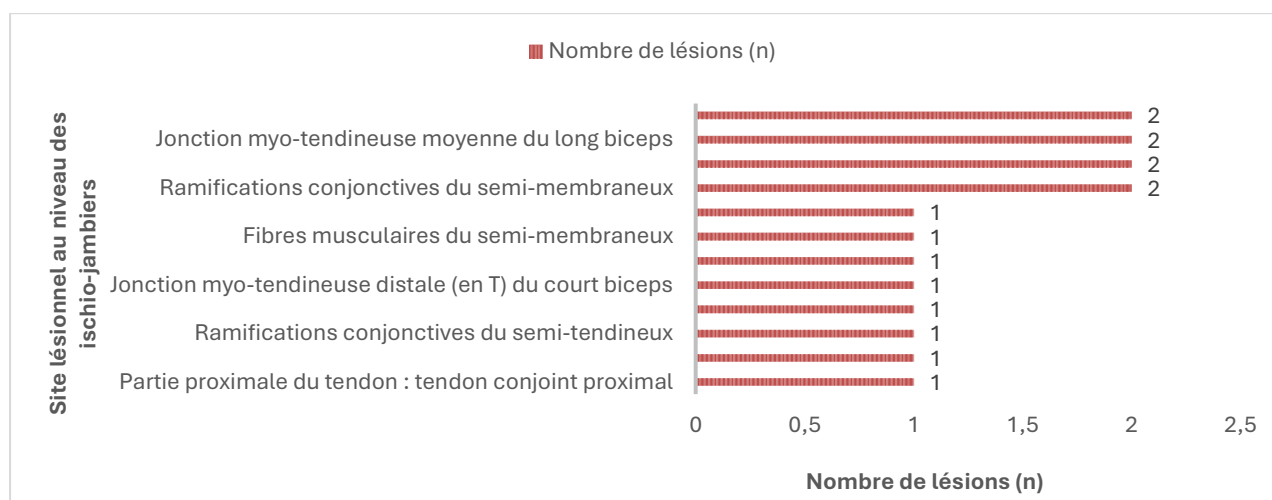


Figure 18 : Distribution des sites lésionnels des ischio-jambiers selon les lésions structurelles identifiées à l'IRM.

3.2-3 Répartition des lésions des ischio jambiers selon les sites lésionnels tissulaires

L'analyse des 16 lésions tissulaires identifiées au sein du groupe des ischio-jambiers met en évidence une prédominance des atteintes aponévrotiques et myo-aponévrotiques, regroupant 8 localisations, soit 50 % de l'ensemble des lésions analysées. Les lésions situées au niveau de la jonction myotendineuse représentaient également une part notable, avec 4 atteintes (25%), intéressant principalement le complexe du biceps fémoral et le semi-membraneux.

Les atteintes tendineuses pures étaient moins fréquentes, totalisant 3 lésions (18,8 %). Les atteintes musculaires limitées aux fibres musculaires restaient rares, avec une seule localisation (6,2 %). (Figure 19, Tableau 16).

TABLEAU 16: Répartition des lésions des ischio-jambiers selon les sites lésionnels tissulaires .

Sites lésionnels tissulaires	Nombre de lésions (n)	Pourcentage
Aponévrotique / fascia / myo-aponévrotique	8	50,0
Jonction myo-tendineuse (JMT)	4	25,0
Tendineux (tendon pur)	3	18,8
Musculaire (fibres musculaires)	1	6,2
TOTAL	16	100

NB : Le total des lésions (16) est supérieur au nombre de joueurs concernés (7) car un même joueur peut présenter plusieurs lésions anatomiques simultanément.

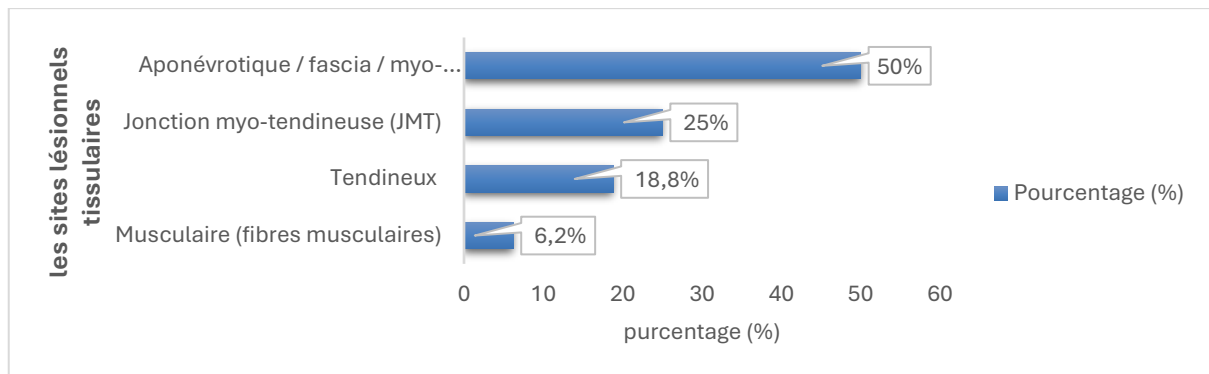


FIGURE 19 : Répartition des 16 lésions des ischio-jambiers selon les sites lésionnels tissulaires.

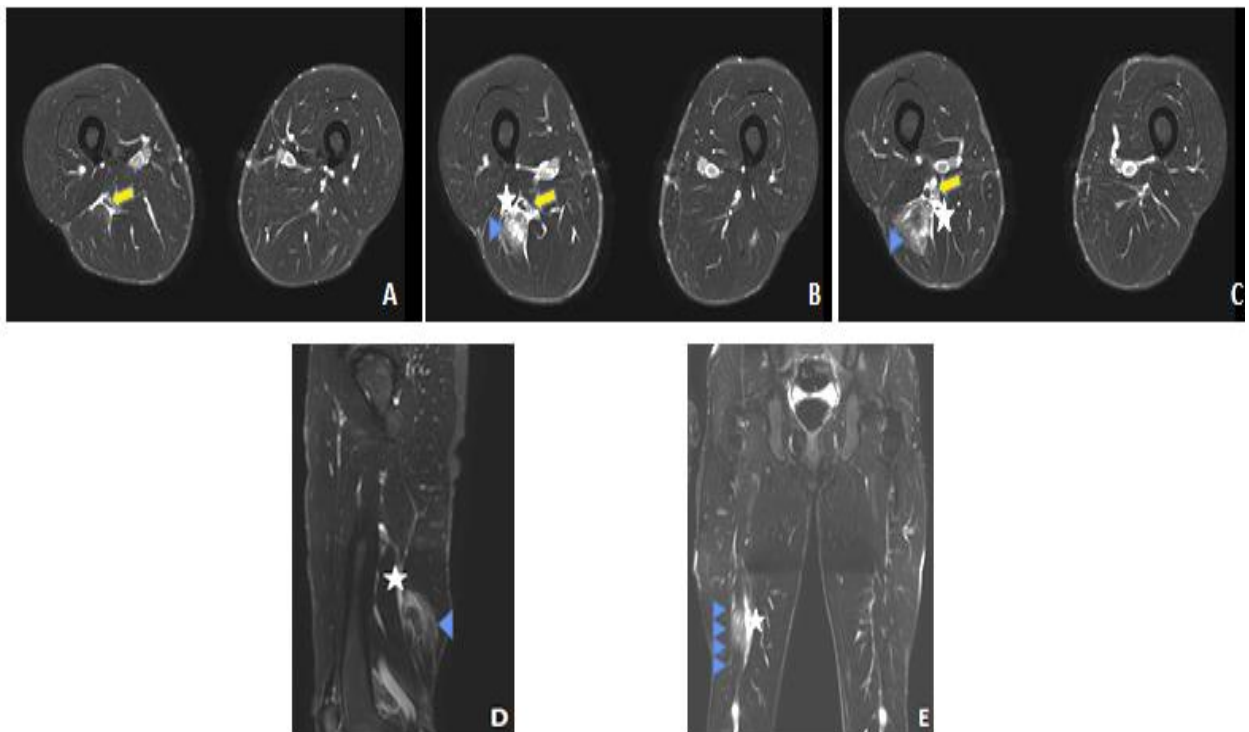


Figure 20 : Lésion du tendon et de la jonction myotendineuse du long biceps droit.

Séquences axiales (A, B et C), coronale (E) et sagittale T2 STIR (D) :

Lésion du tendon du long biceps au niveau de sa partie moyenne, en hypersignal T2 (flèche bleue), avec petite collection et désorganisation des fibres musculaires (étoile), associée à un hypersignal du nerf sciatique (flèche jaune).

3.3 Les adducteurs

3.3-1 La répartition des muscles atteints au sein du groupe musculaire des adducteurs

Au sein des six joueurs présentant des lésions structurales IRM du groupe musculaire des adducteurs, le muscle le plus fréquemment atteint était le long adducteur, impliqué dans quatre cas (66,7 %). Le court adducteur était atteint dans un cas (16,7 %). Deux autres muscles présentaient également des lésions, à savoir le gracile et le Sartorius, chacun retrouvé dans un cas (16,7 %). Aucune lésion du grand adducteur n'a été identifiée dans cette série. (Figure 21, Tableau 17).

Tableau 17 : Répartition des muscles atteints au sein du groupe musculaire des adducteurs chez les joueurs présentant une lésion structurale à l'IRM (n = 6).

Muscle atteint	Nombre de joueurs atteints (n)	Pourcentage
Long adducteur	4	66,7 %
Court adducteur	1	16,7 %
Grand adducteur	0	0 %
Gracile	1	16,7 %
Sartorius	1	16,7 %

NB : Le nombre total de lésions musculaires (n = 7) dépasse le nombre de joueurs présentant une lésion structurale des adducteurs (n = 6), car un même joueur peut présenter plusieurs muscles atteints simultanément.

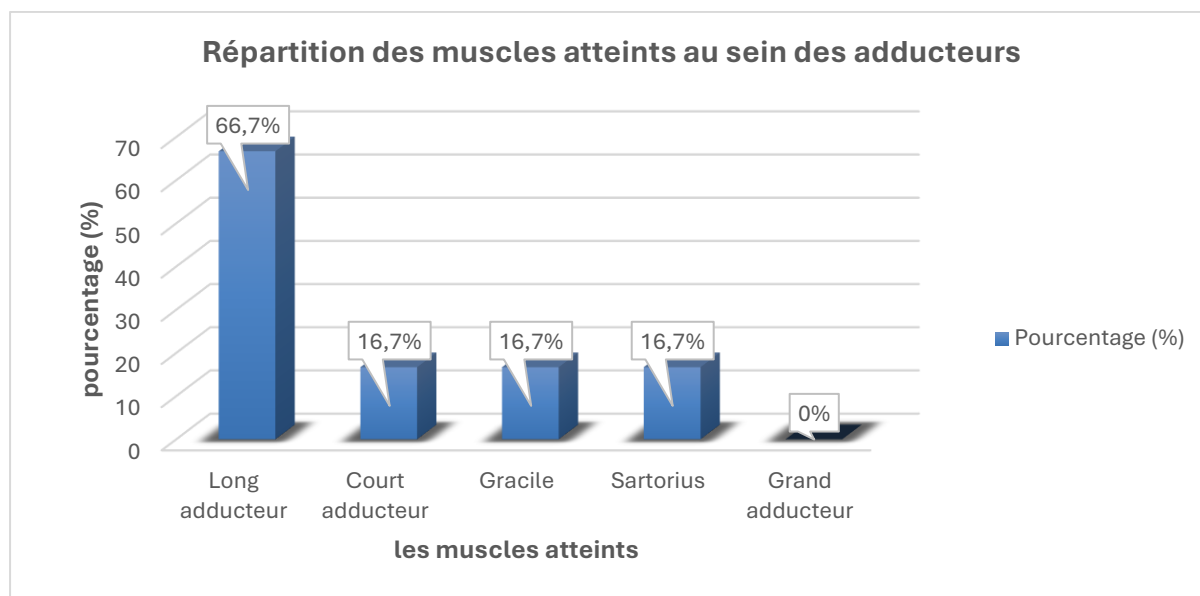


Figure 21 : Répartition des muscles atteints au sein du groupe des adducteurs .

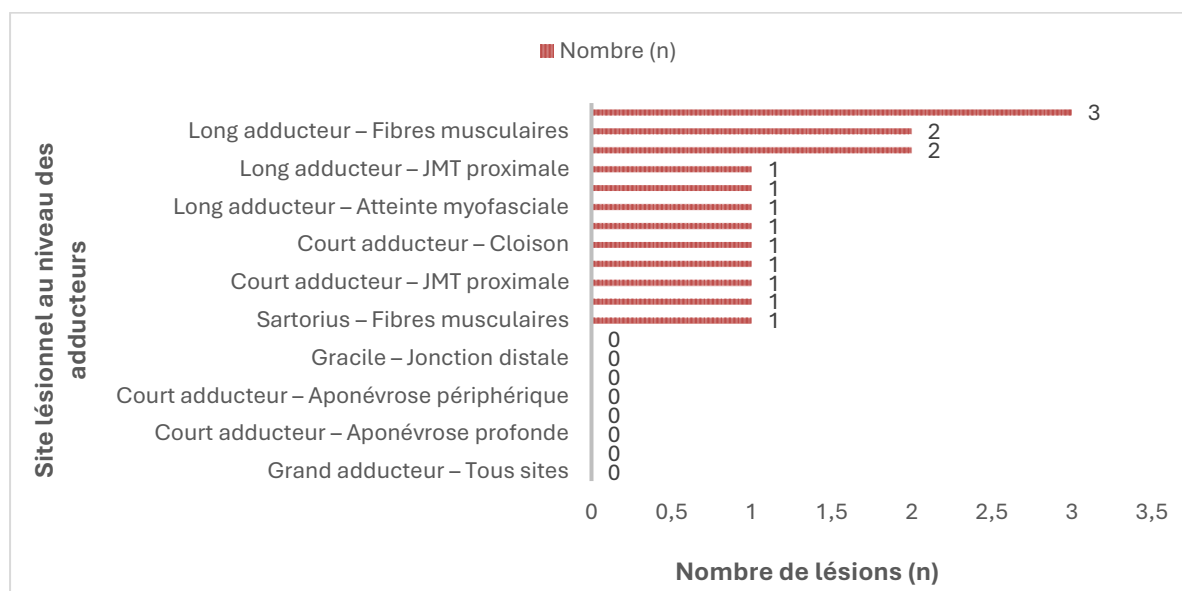
3.3-2 Répartition selon les sièges lésionnels

L'analyse des lésions structurelles des adducteurs met en évidence une nette prédominance des atteintes du long adducteur, qui concentre la majorité des sites lésionnels recensés. Les atteintes aponévrotiques et myo-aponévrotiques y sont particulièrement représentées (Figure 25), avec six lésions intéressant l'aponévrose horizontale, les cloisons conjonctives et les atteintes myofasciales, traduisant une vulnérabilité marquée de ces structures. Les lésions musculaires du long adducteur sont également notables, avec deux atteintes des fibres musculaires, tandis que les atteintes tendineuses et de la jonction myotendineuse proximale restent plus rares, chacune retrouvée dans un cas.

Au niveau du court adducteur, les lésions sont moins fréquentes et réparties de manière hétérogène, touchant la jonction myotendineuse proximale (Figure 24) , les fibres musculaires, les cloisons et le compartiment myofascial, sans atteinte des structures aponévrotiques périphériques ou profondes. Aucune lésion n'a été observée au niveau du grand adducteur. Les muscles accessoires sont peu concernés, avec une atteinte des fibres musculaires du gracile et du sartorius, chacune observée une seule fois. L'ensemble de ces résultats souligne la prédominance des lésions myo-aponévrotiques du long adducteur dans les atteintes structurelles des adducteurs. (Figure 22, Tableau 18).

Tableau 18 : Sites lésionnels au niveau des adducteurs (lésions structurelles IRM).

Site lésionnel (Adducteurs)	Nombre (n)
Long adducteur – Tendon proximal	1
Long adducteur – JMT proximale	1
Long adducteur – Fibres musculaires	2
Long adducteur – Aponévrose horizontale (cloison)	3
Long adducteur – Cloisons conjonctives	2
Long adducteur – Atteinte myofasciale	1
Long adducteur – Aponévrose périphérique	0
Court adducteur – JMT proximale	1
Court adducteur – Cloisons conjonctives	0
Court adducteur – Fibres musculaires	1
Court adducteur – Cloison	1
Court adducteur – Atteinte myofasciale	1
Court adducteur – Aponévrose périphérique	0
Court adducteur – Aponévrose profonde	0
Grand adducteur – Tous sites	0
Gracile – JMT proximale	0
Gracile – Fibres musculaires	1
Gracile – Jonction distale	0
Sartorius – JMT proximale	0
Sartorius – Fibres musculaires	1
TOTAL DES LÉSIONS RECENSÉES	16

**Figure 22 : La répartition des lésions selon le site lésionnel au niveau des adducteurs.**

3.3-3 Répartition des lésions des adducteurs selon les sites lésionnels tissulaires

L'analyse des 16 sites lésionnels identifiés au sein du groupe des adducteurs met en évidence une prédominance des atteintes aponévrotiques, fasciales et myo-aponévrotiques, regroupant 8 localisations, soit 50,0 % de l'ensemble des lésions recensées. Les atteintes musculaires pures constituent le deuxième site lésionnel le plus fréquent, avec 5 lésions, correspondant à 31,3 % des cas.

Les lésions siégeant au niveau de la jonction myo-tendineuse représentaient 2 localisations, soit 12,5 % des lésions, intéressant respectivement le long adducteur et le court adducteur. Enfin, une seule atteinte tendineuse isolée a été observée, représentant 6,2 % des lésions. Aucune lésion associée n'a été retrouvée dans cette série. (Figure 23, Tableau 19).

TABLEAU 19 : Répartition des lésions des adducteurs selon les sites lésionnels tissulaires.

Sites lésionnels tissulaires	Nombre des lésions (n)	Pourcentage
Aponévrotique / Fascia / Myo-aponévrotique	8	50 %
Musculaire (fibres musculaires)	5	31,3 %
Jonction myotendineuse (JMT)	2	12,5 %
Tendineux (tendon pur)	1	6,2 %
TOTAL	16	100 %

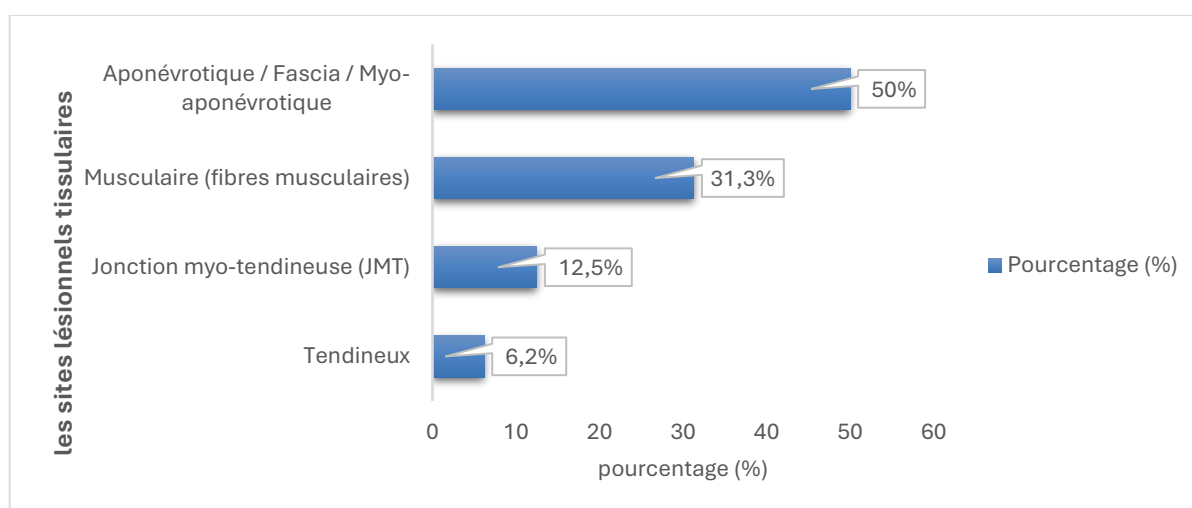


FIGURE 23 : Répartition des 16 lésions des adducteurs selon les sites lésionnels tissulaires.

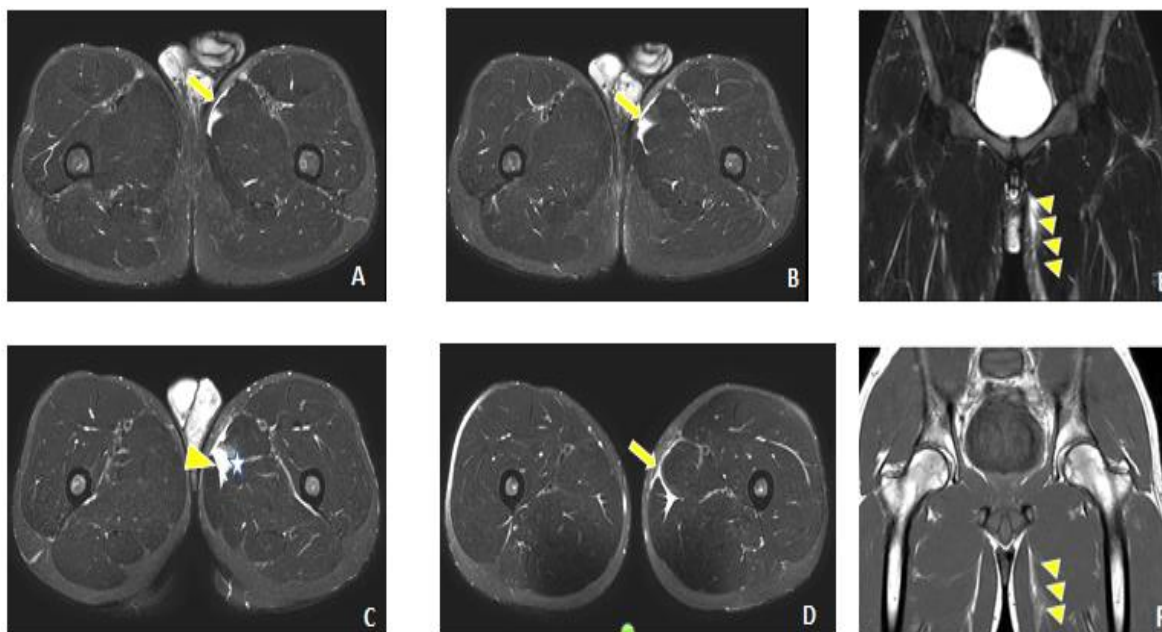


Figure 24 : Rupture myo-aponévrotique périphérique du court adducteur gauche.

Séquences axiales T2 STIR (A, B, C et D), coronales T1 et DP Fat Sat (E et F) :

Hypersignal DP de la jonction myotendineuse proximale du court adducteur (flèches), associé à une collection hématique mesurant 38 × 68 mm (têtes de flèches) et à une fine collection hématique inter- et péri-aponévrotique (étoile).

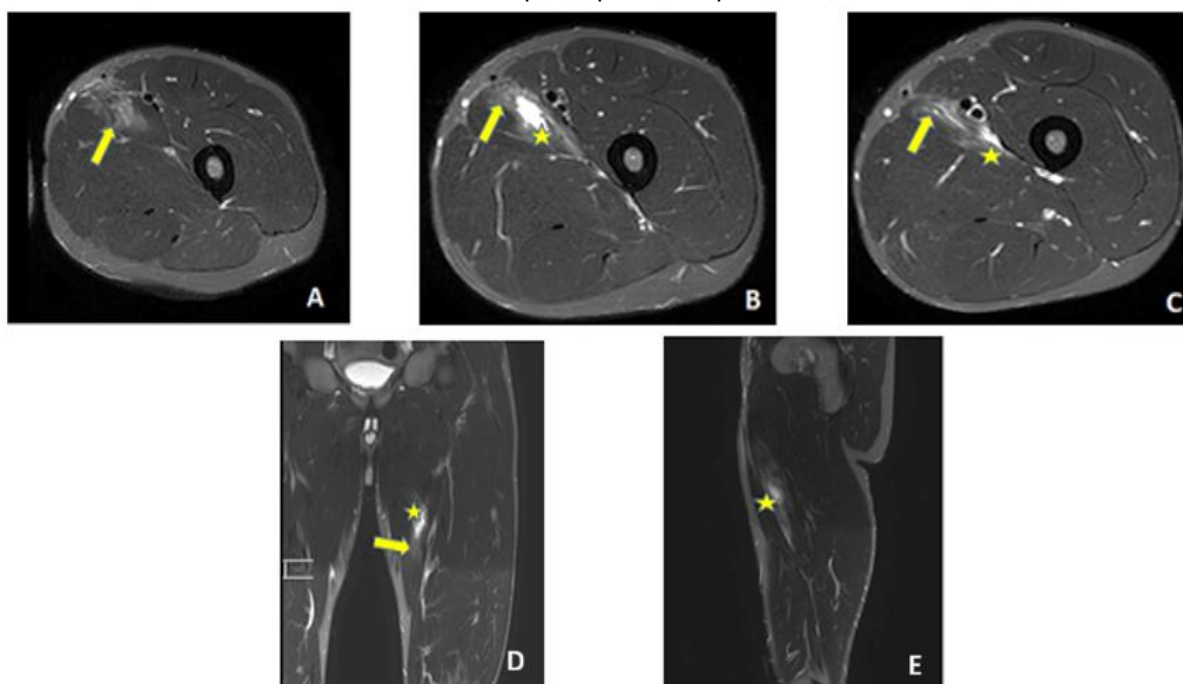


Figure 25 : Lésion myo-aponévrotique du long adducteur gauche.

Séquences axiales (A, B et C), coronale (D) et sagittale (E) T2 STIR :

Lésion au niveau de la cloison sagittale et myo-aponévrotique de la partie moyenne et inférieure du long adducteur, en hypersignal T2 (flèche), associée à une collection hématique < 8 cm (étoile).

3.4 Quadriceps

3.4-1 Les muscles atteints au sein du groupe musculaire des quadriceps

Dans cette série, les quatre lésions structurales du quadriceps identifiées à l'IRM étaient toutes localisées au niveau du droit fémoral, représentant 100 % des cas. Le vaste latéral était impliqué dans deux lésions, soit 40 %, toujours associé à une atteinte du droit fémoral et jamais observé isolément. Aucun cas d'atteinte du vaste médial ou du vaste intermédiaire n'a été retrouvé. (Figure 26, Tableau 20).

Tableau 20 : Répartition des muscles atteints au sein du groupe musculaire des quadriceps chez les joueurs présentant une lésion structurale à l'IRM (n = 5).

Muscle atteint	Nombre de lésions (n)	Pourcentage
Droit fémoral	5	100 %
Vaste latéral	2	40 %
Vaste médial	0	0 %
Vaste intermédiaire	0	0 %

NB : Le total est supérieur à 5 cas plusieurs muscles peuvent être atteints dans une même lésion, comme pour les autres.

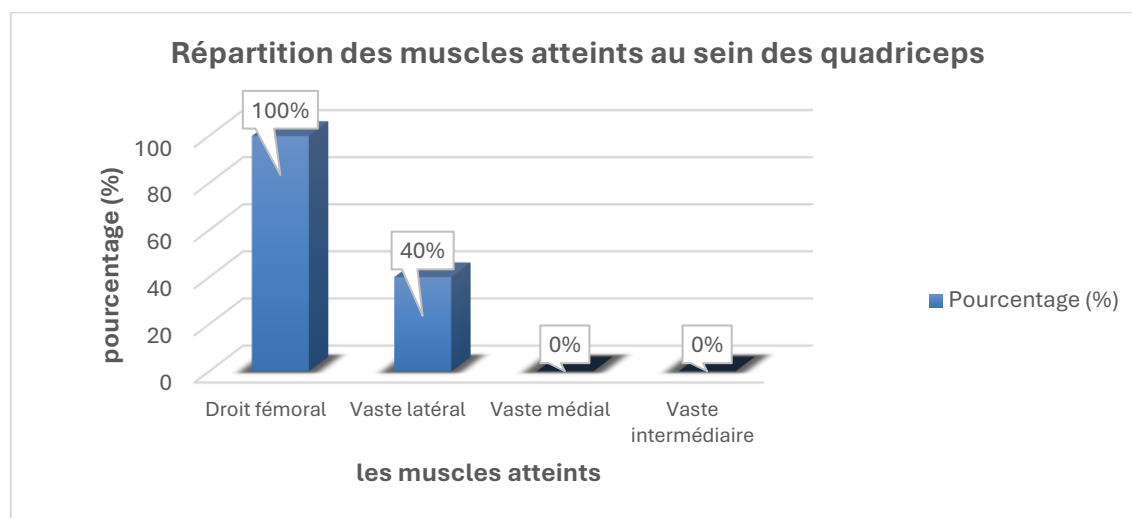


Figure 26 : Répartition des muscles atteints au sein du groupe des quadriceps.

3.4-2 Répartition selon les sièges lésionnels

L'ensemble des sites lésionnels identifiés au sein du quadriceps regroupait 9 localisations anatomiques distinctes, pour un total de 18 lésions recensées. Les atteintes les plus fréquemment observées concernaient les fibres musculaires de la portion moyenne du

droit fémoral (4 cas), suivies de l'aponévrose centrale (3 cas) (Figure 29).et de l'aponévrose périphérique du droit fémoral (2 cas).

Des lésions étaient également retrouvées au niveau du plan myofascial (2 cas), ainsi qu'au niveau des structures proximales du droit fémoral, avec deux atteintes du tendon direct, deux atteintes de la jonction myotendineuse proximale et une atteinte du tendon indirect.

Au niveau du vaste latéral, une atteinte de l'aponévrose centrale et une atteinte myofasciale étaient recensées.

Aucun site lésionnel n'a été identifié au niveau du vaste médial ni du vaste intermédiaire. (Figure 27, Tableau 21).

Tableau 21 : Sites lésionnels du quadriceps .

Site lésionnel (Quadriceps)	Nombre de lésions (n)
Droit fémoral – Tendon direct	2
Droit fémoral – Tendon indirect	1
Droit fémoral – Tendon conjoint	0
Droit fémoral – JMT proximale	2
Droit fémoral – Partie moyenne (fibres musculaires)	4
Droit fémoral – Aponévrose centrale	3
Droit fémoral – Aponévrose périphérique (ant., post., lat.)	2
Droit fémoral – Atteinte myofasciale	2
Droit fémoral – JMT distale	0
Droit fémoral – Tendon distal	0
Vaste latéral – JMT	0
Vaste latéral – Aponévrose centrale	1
Vaste latéral – Fibres musculaires	0
Vaste latéral – Atteinte myofasciale	1
Vaste médial – JMT	0
Vaste médial – Aponévrose périphérique	0
Vaste médial – Atteinte myofasciale	0
Vaste médial – Fibres musculaires	0
Vaste intermédiaire – Aponévrose	0
Vaste intermédiaire – Fibres musculaires	0
TOTAL DES LÉSIONS RECENSÉES	18

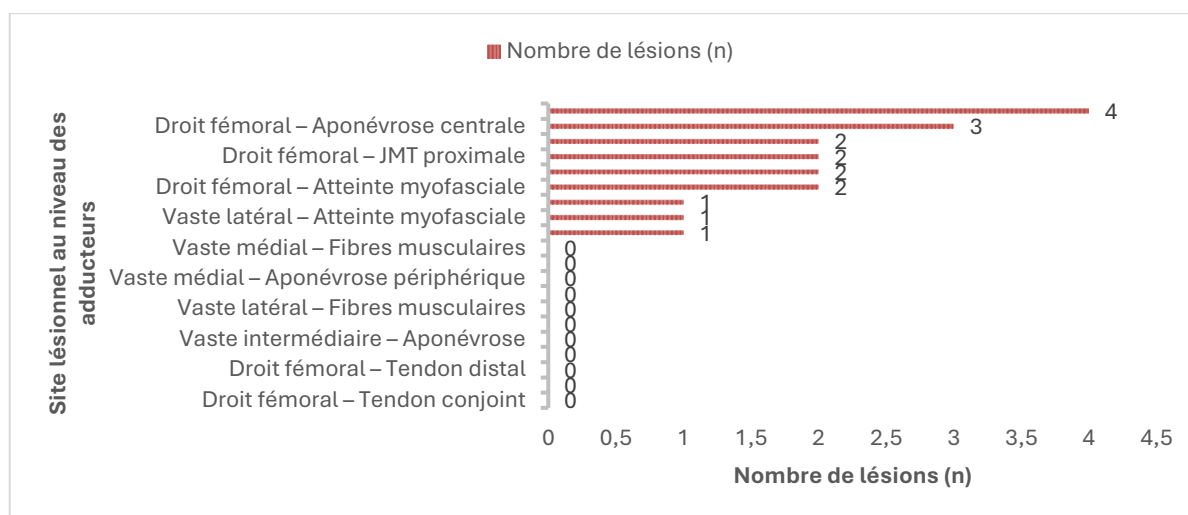


Figure 27 : Répartition des lésions structurales du quadriceps selon le site lésionnel.

3.4-3 Répartition des lésions des quadriceps selon les sites lésionnels tissulaires

Les lésions du quadriceps étaient majoritairement représentées par des atteintes aponévrotiques, fasciales et myo-aponévrotiques (50,0 %, n = 9). Elles étaient suivies par les atteintes musculaires limitées aux fibres musculaires (22,2 %, n = 4). Les atteintes tendineuses pures représentaient 16,7 % des lésions (n = 3), tandis que les lésions intéressant la jonction myo-tendineuse constituaient la catégorie la moins fréquente (11,1 %, n = 2). (Figure 28, Tableau 22).

TABLEAU 22 : Répartition des lésions des quadriceps selon les sites lésionnels tissulaires.

Sites lésionnels tissulaires	Nombre des lésions (n)	Pourcentage
Aponévrotique / Fascia / Myo-aponévrotique	9	50 %
Musculaire (fibres musculaires)	4	22,2 %
Jonction myotendineuse (JMT)	2	11,1 %
Tendineux (tendon pur)	3	16,7 %
TOTAL	18	100 %

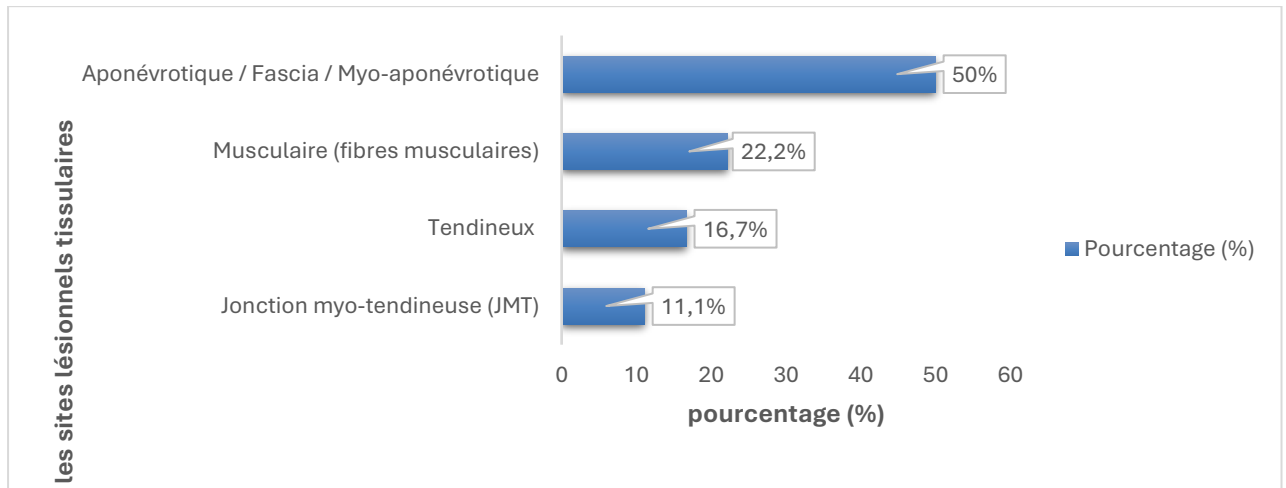


FIGURE 28 : Répartition des 18 lésions des quadriceps selon les sites lésionnels tissulaires.

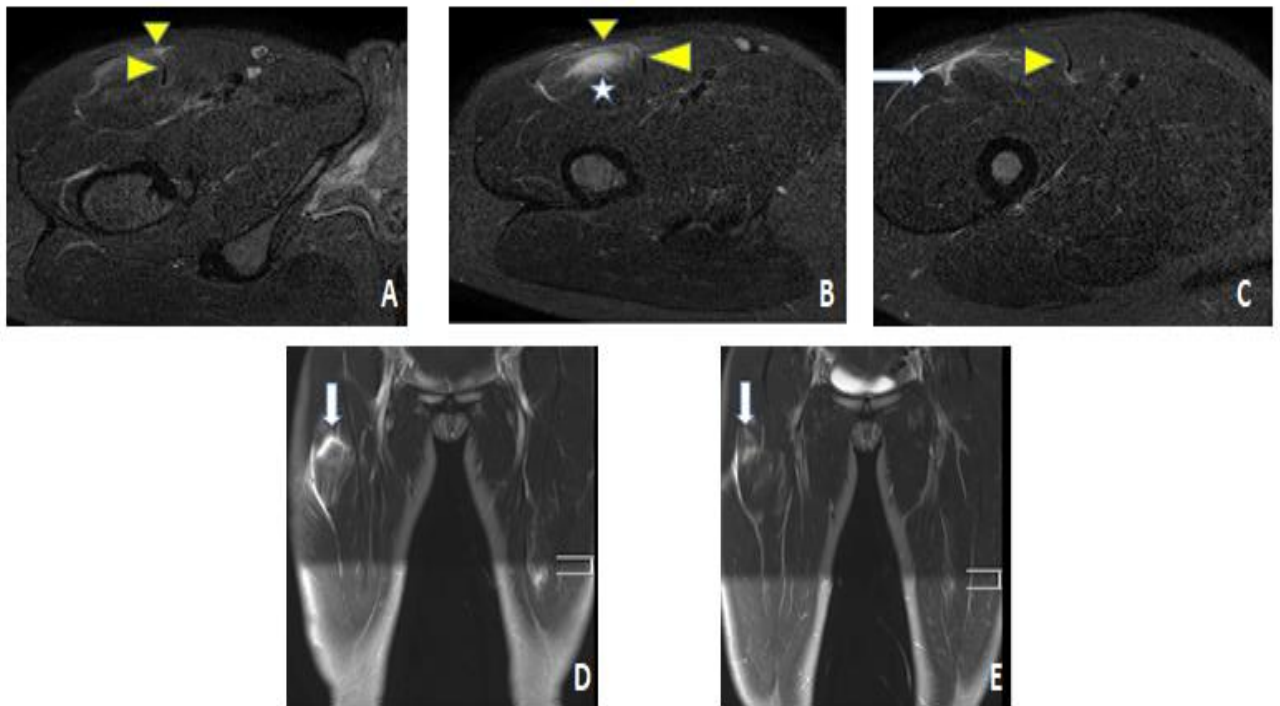


Figure 29 : Lésion de la partie moyenne de la cloison centrale du muscle droit fémoral.

Séquences axiales T2 STIR (A, B et C) et coronales T1 (D et E) : présence, au niveau des parties proximale et moyenne du droit fémoral, d'un hypersignal de l'aponévrose centrale et du tissu conjonctif myo-aponévrotique (tête de flèche), associé à un petit hématome < 8 cm (étoile) et à une fine collection hématique inter-aponévrotique entre le droit fémoral et le vaste latéral (flèche).

3.5 Mollets

3.5-1 Les muscles atteints au sein du groupe musculaire des mollets

Dans cette série, deux lésions structurales IRM ont été identifiées au niveau du mollet. Elles concernaient le soléaire et le plantaire grêle, avec une lésion pour chacun, représentant respectivement 50 % des atteintes observées. Aucune atteinte n'a été relevée au niveau du gastrocnémien latéral ni du gastrocnémien médial. (Figure 30, Tableau 23).

Tableau 23 : Répartition des muscles atteints au sein du groupe musculaire des mollets chez les joueurs présentant une lésion structurale à l'IRM (n = 2).

Muscle atteint (mollet)	Nombre de lésions (n)	Pourcentage
Soléaire	1	50 %
Plantaire grêle	1	50%
Gastrocnémien latéral	0	0 %
Gastrocnémien médial	0	0 %

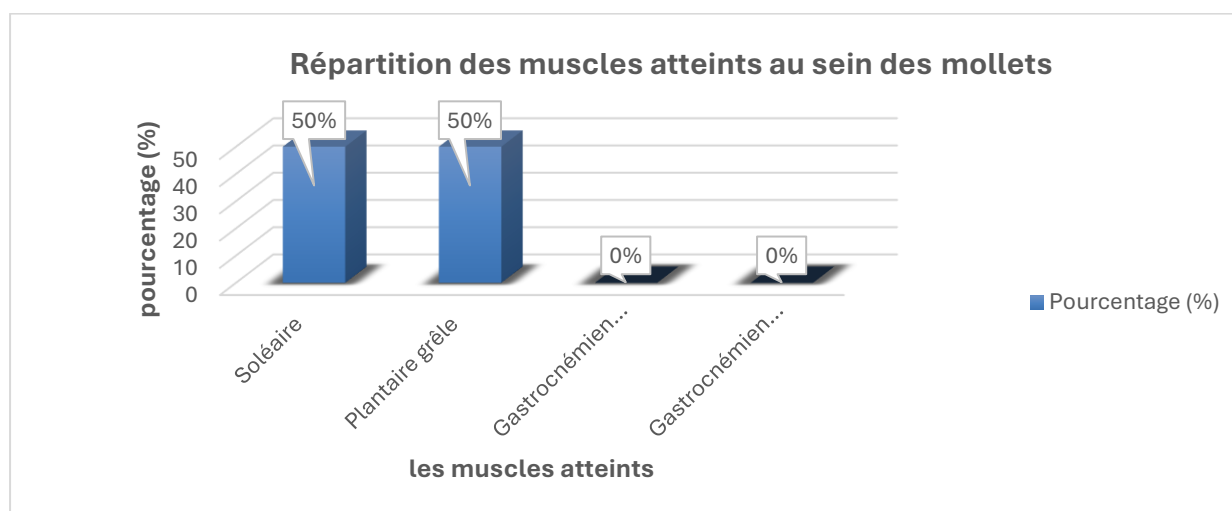


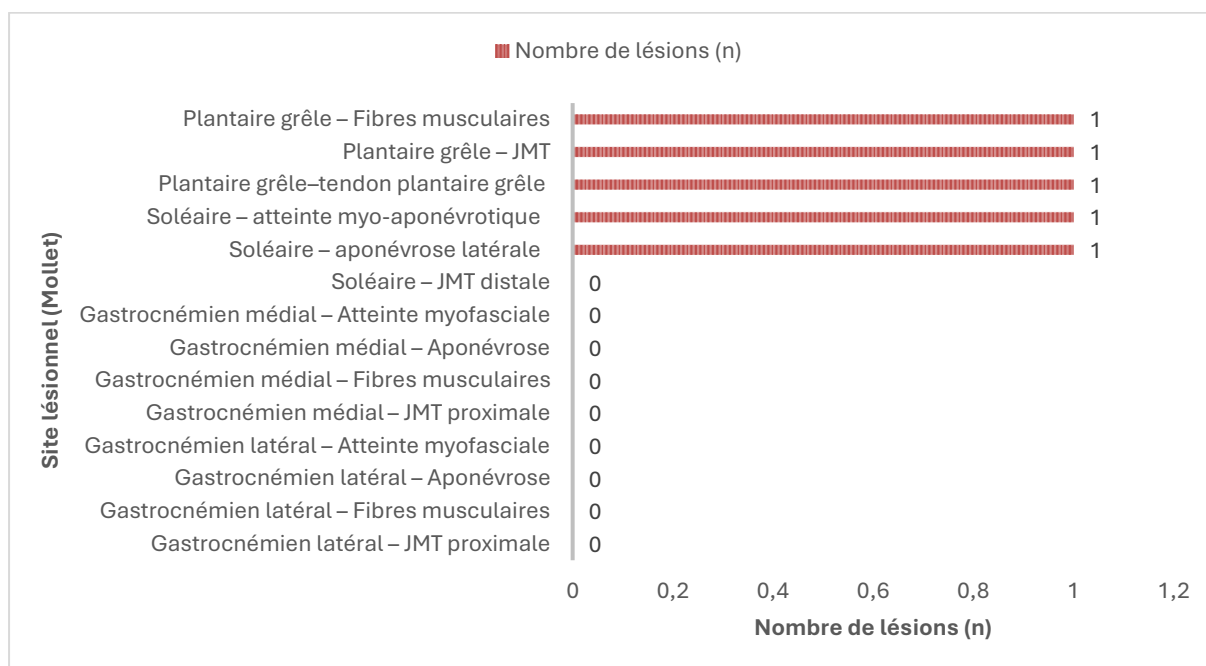
Figure 30 : Répartition des muscles atteints au sein du groupe des mollets (n = 2).

3.5-2 Répartition selon les sièges lésionnels

Au sein du groupe musculaire du mollet, cinq sites lésionnels ont été identifiés. Deux atteintes concernaient le soléaire, intéressant l'aponévrose latérale et le compartiment myo-aponévrotique (Figure 33). Trois sites lésionnels étaient observés au niveau du plantaire grêle, localisés respectivement au tendon du plantaire grêle, à la jonction myotendineuse et aux fibres musculaires. Aucun site lésionnel n'a été observé au niveau des muscles gastrocnémien latéral et gastrocnémien médial. (Figure 31, Tableau 24).

Tableau 24 : Sites lésionnels du mollet.

Site lésionnel (Mollet)	Nombre de lésions (n)
Gastrocnémien latéral – JMT proximale	0
Gastrocnémien latéral – Fibres musculaires	0
Gastrocnémien latéral – Aponévrose	0
Gastrocnémien latéral – Atteinte myofasciale	0
Gastrocnémien médial – JMT proximale	0
Gastrocnémien médial – Fibres musculaires	0
Gastrocnémien médial – Aponévrose	0
Gastrocnémien médial – Atteinte myofasciale	0
Soléaire – aponévrose latérale	1
Soléaire – atteinte myo-aponévrotique	1
Soléaire – JMT distale	0
Plantaire grêle-tendon plantaire grêle	1
Plantaire grêle – JMT	1
Plantaire grêle – Fibres musculaires	1
TOTAL DES LÉSIONS RECENSÉES	5

**Figure 31 : Répartition des lésions structurales du mollets selon le site lésionnel.**

3.5-3 Répartition des lésions des mollets selon les sites lésionnels tissulaires

Parmi les 5 sites lésionnels identifiés au niveau du mollet, les atteintes aponévrotiques et myo-aponévrotiques constituaient la catégorie la plus fréquente (40 %, n = 2), toutes deux observées au niveau du muscle soléaire. Les atteintes musculaires pures concernaient 20 % des lésions (n = 1), intéressant les fibres musculaires du plantaire grêle. Les lésions situées au niveau de la jonction myotendineuse représentaient également 20 % des cas (n = 1), localisées au niveau du plantaire grêle, tandis qu'une atteinte tendineuse isolée intéressait le tendon du plantaire grêle dans 20 % des situations (n = 1). Aucune atteinte des muscles gastrocnémien latéral ou médial n'a été observée dans cette série. (Figure32 , Tableau 25).

TABLEAU 25 : Répartition des lésions des mollets selon les sites lésionnels tissulaires.

Sites lésionnels tissulaires	Nombre des lésions (n)	Pourcentage
Aponévrotique / Fascia / Myo-aponévrotique	2	40 %
Musculaire (fibres musculaires)	1	20 %
Jonction myo-tendineuse (JMT)	1	20 %
Tendineux	1	20%
TOTAL	5	100 %

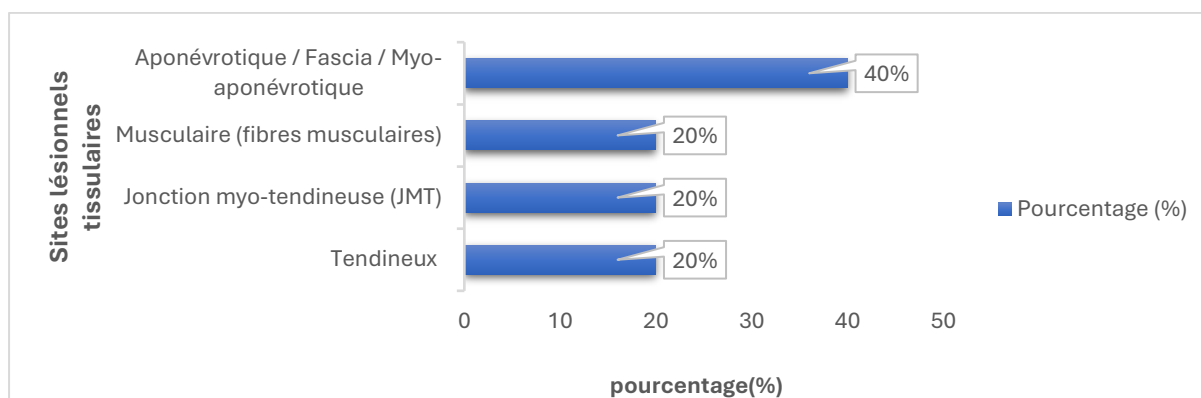


FIGURE 32 : Répartition des 5 lésions des mollets selon les sites lésionnels tissulaires.

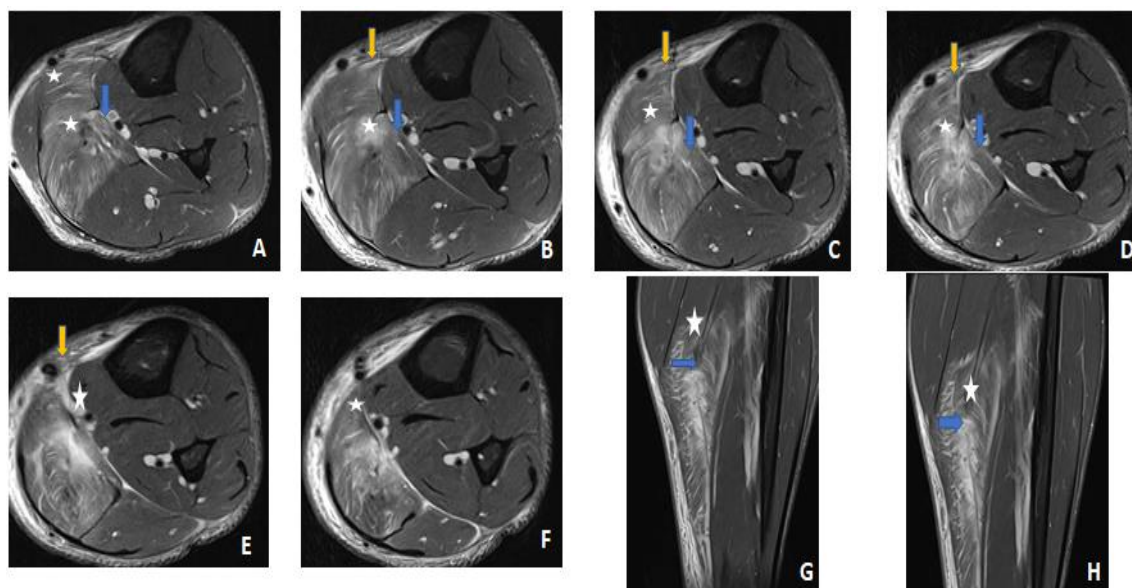


Figure 33 : Lésion aponévrotique et myo-aponévrotique du muscle soléaire.

Séquences axiales (A, B, C, D, E et F) et sagittales T2 STIR (G et H) :

Rupture totale de l'aponévrose latérale au niveau de ses parties proximale et moyenne (flèches bleues et jaunes), avec petite collection hématique millimétrique, associée à un œdème musculaire adjacent avec désinsertions myo-aponévrotiques en regard (étoiles).

3.6 Autres muscles atteints

3.6-1 Muscles atteints au sein de la catégorie "Autres muscles"

Dans cette série, deux lésions structurales ont été identifiées dans la catégorie des autres muscles, représentant un total de 2 cas. Les muscles concernés étaient l'ilio-psoas et le tenseur du fascia lata, chacun atteint dans un cas, sans prédominance d'un muscle par rapport à l'autre. (Figure 34, Tableau 26).

Tableau 26 : Répartition des muscles atteints dans la catégorie "Autres muscles" chez les joueurs présentant une lésion à l'IRM (n = 2).

Muscle atteint	Nombre de lésions (n)	Pourcentage
Ilio-psoas	1	50 %
Tenseur du fascia lata	1	50 %
Total	2	100 %

NB : Chaque muscle a été atteint dans un seul cas, sans prédominance d'un muscle par rapport à l'autre.

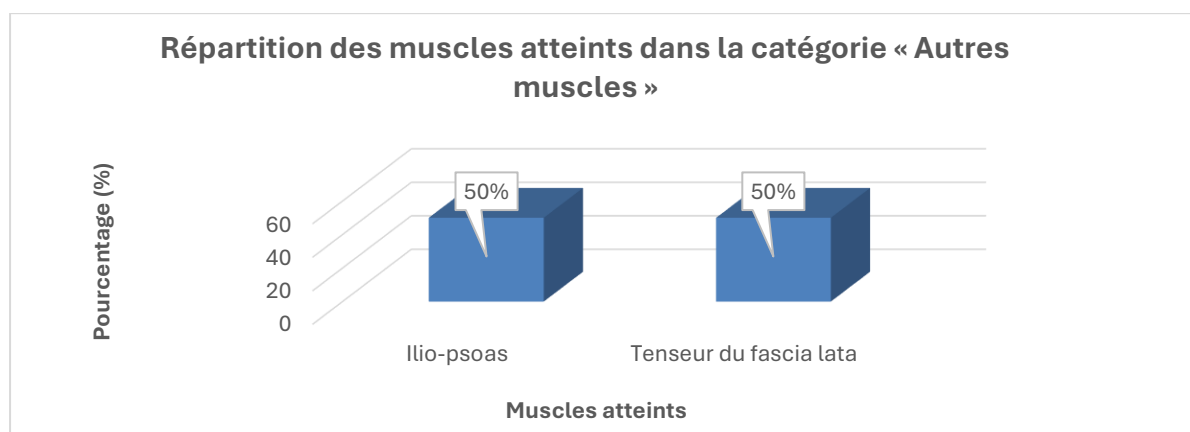


Figure 34. Répartition des muscles atteints dans la catégorie « Autres muscles » chez les joueurs présentant une lésion à l'IRM (n = 2).

3.6-2 Répartition selon les sièges lésionnels

Dans la catégorie des autres muscles, trois sites lésionnels ont été recensés. Une atteinte concernait la jonction myotendineuse de l'ilio-psoas. Deux atteintes étaient observées au niveau du tenseur du fascia lata, touchant les fibres conjonctives et le plan myofascial. Aucun autre site lésionnel n'a été identifié. (Figure 35, Tableau 27).

Tableau 27 : Répartition des sites lésionnels des muscles ilio-psoas et tenseur du fascia lata.

Site lésionnel (Autres muscles)	Nombre de lésions (n)
Ilio-psoas – Tendon proximal	0
Ilio-psoas – Jonction myotendineuse	1
Ilio-psoas – Fibres musculaires	0
Ilio-psoas – Atteinte myo-aponévrotique	0
Tenseur du fascia lata – Tendon proximal	0
Tenseur du fascia lata – Jonction myotendineuse	0
Tenseur du fascia lata – Fibres conjonctives	1
Tenseur du fascia lata – Aponévrose	0
Tenseur du fascia lata – Atteinte myo-fasciale	1
TOTAL DES LÉSIONS RECENSÉES	3

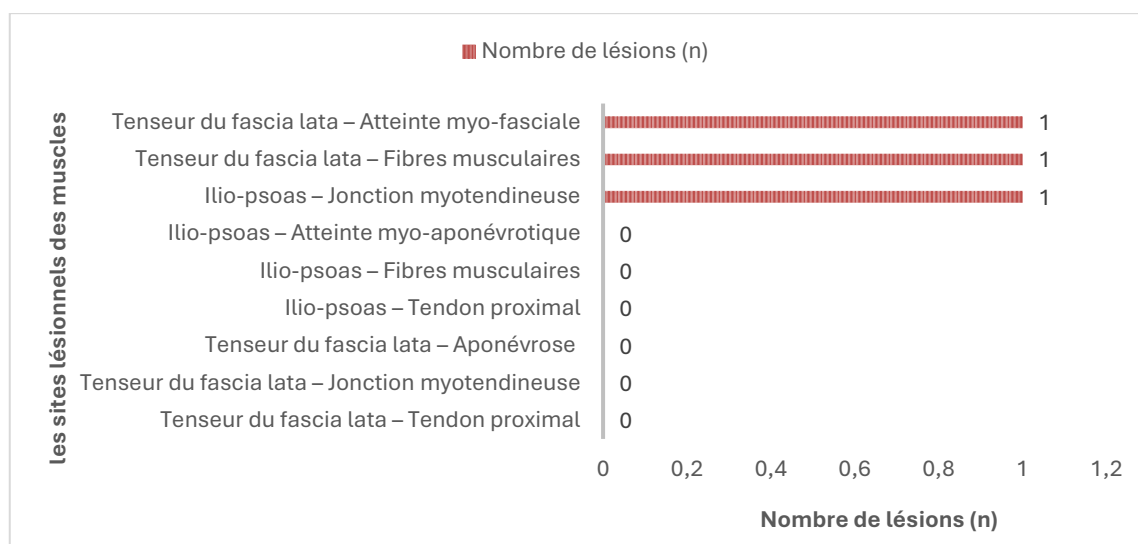


Figure 35 : Répartition des lésions structurelles dans la catégorie « Autres muscles » selon le site lésionnel.

3.6-3 Répartition des lésions dans la catégorie « Autres muscles » selon les sites lésionnels tissulaires

Parmi les trois sites lésionnels recensés dans la catégorie des autres muscles, une atteinte intéressait le compartiment aponévrotique et myofascial (33,3 %), observée au niveau du tenseur du fascia lata. Une lésion musculaire pure touchait les fibres musculaires de ce même muscle (33,3 %). Une atteinte était localisée au niveau de la jonction myotendineuse de l'ilio-psoas (33,3 %). Aucune atteinte tendineuse isolée n'a été identifiée dans cette catégorie. (Figure 36, Tableau 28).

TABLEAU 28 : Répartition des lésions dans la catégorie « Autres muscles » selon les sites lésionnels tissulaires.

Sites lésionnels tissulaires	Nombre des lésions (n)	Pourcentage
Aponévrotique / Fascia / Myo-aponévrotique	1	33,3 %
Musculaire (fibres musculaires)	1	33,3 %
Jonction myo-tendineuse (JMT)	1	33,3 %
Tendineux (tendon pur)	0	0 %
TOTAL	3	100%

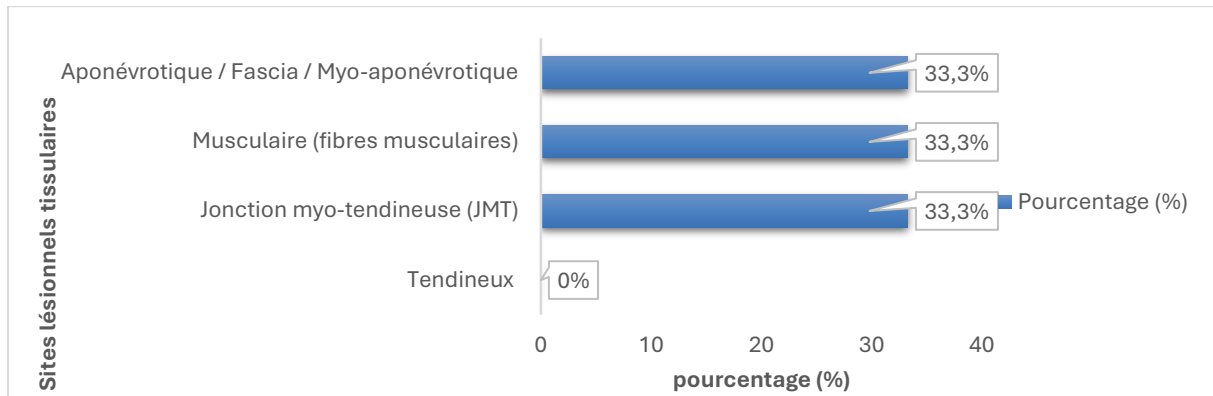


Figure 36 : Répartition des lésions dans la catégorie « Autres muscles » selon les sites lésionnels tissulaires.

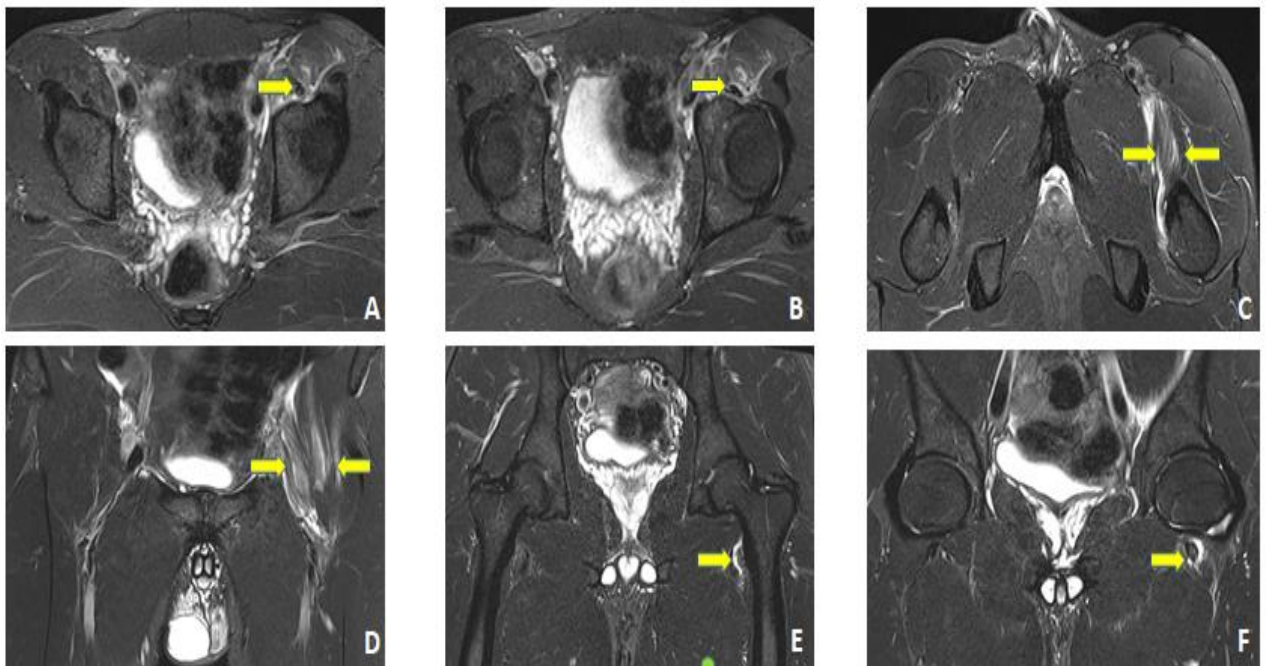


Figure 37 : Lésion tendineuse et myotendineuse de l'ilio-psoas gauche.

Séquences axiales (A, B et C) et coronales T2 STIR (D,E et F) :

Lésion tendineuse et myotendineuse de l'ilio-psoas gauche en hypersignal sans collection hématique (flèches).

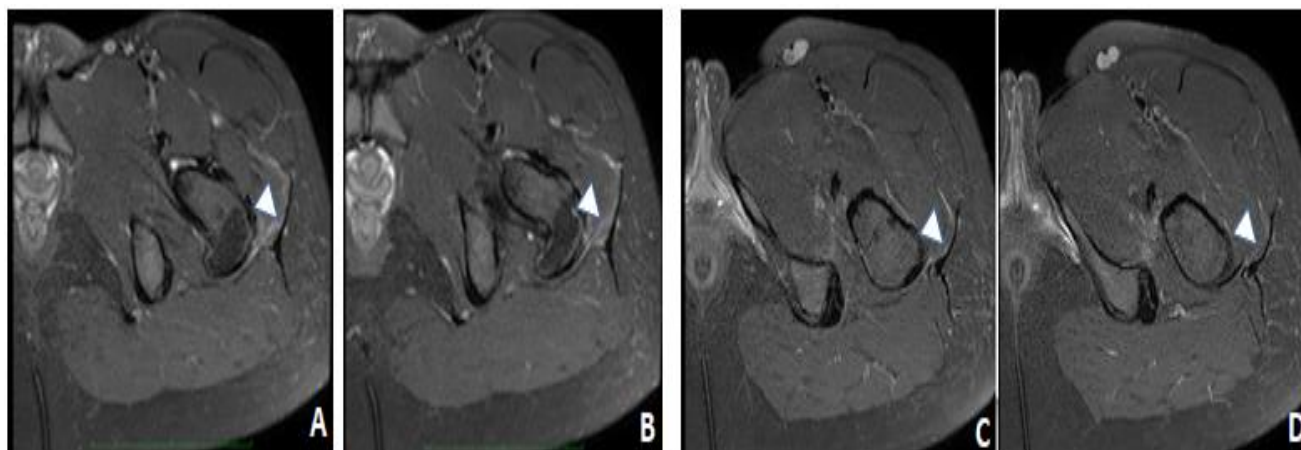


Figure 38 : Lésion myo-aponévrotique du fascia lata.

Séquences axiales T2 STIR (A, B, C et D) :

Épaississement de l'aponévrose et des fibres conjonctives du muscle fascia lata, en discret hypersignal (têtes de flèche).

3.7 Répartition selon les structures anatomiques associées aux lésions structurelles

Dans l'ensemble de notre population sportive, comprenant 22 lésions structurelles objectivées à l'IRM, une atteinte anatomique associée a été identifiée dans 2 cas, soit 9,1 % de l'ensemble des lésions recensées. Il s'agissait exclusivement d'atteintes du nerf sciatique.

Les 20 autres lésions, représentant 90,9 %, ne présentaient aucune structure anatomique associée identifiable à l'IRM.

Ces atteintes du nerf sciatique étaient uniquement observées chez les joueurs présentant des lésions structurelles des ischio-jambiers, correspondant à 2 cas sur les 7 lésions recensées dans ce sous-groupe, soit une proportion de 28,6 %. (Figure 39, Tableau 29).

Tableau 29 : Structures anatomiques associées aux lésions structurelles dans notre population sportive (n = 22).

Structures anatomiques associées	Nombre de lésions (n)	Pourcentage
Atteinte du nerf sciatique	2	9,1 %
Absence d'atteinte associée	20	90,9 %
TOTAL	22	100 %

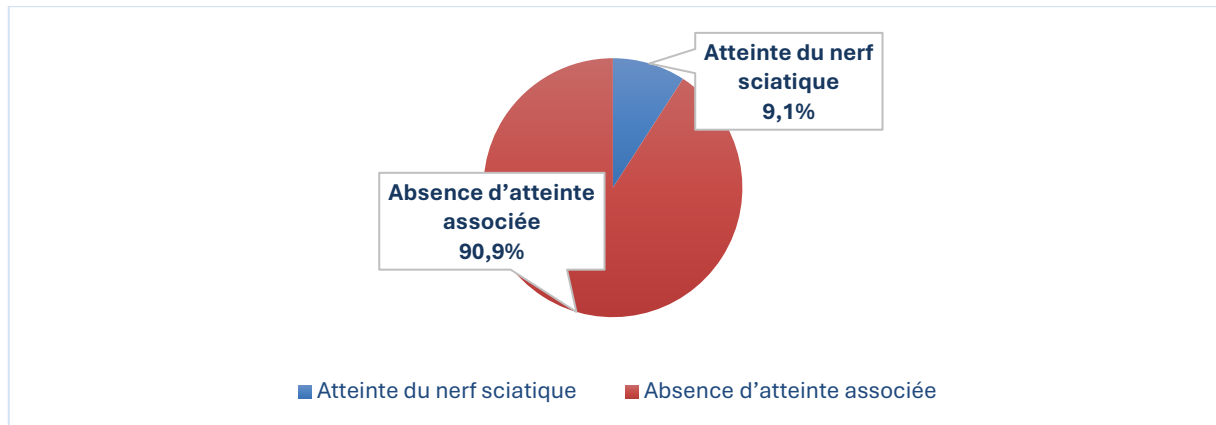


Figure 39 : Répartition des structures anatomiques associées aux lésions structurelles dans la population étudiée (n=22).

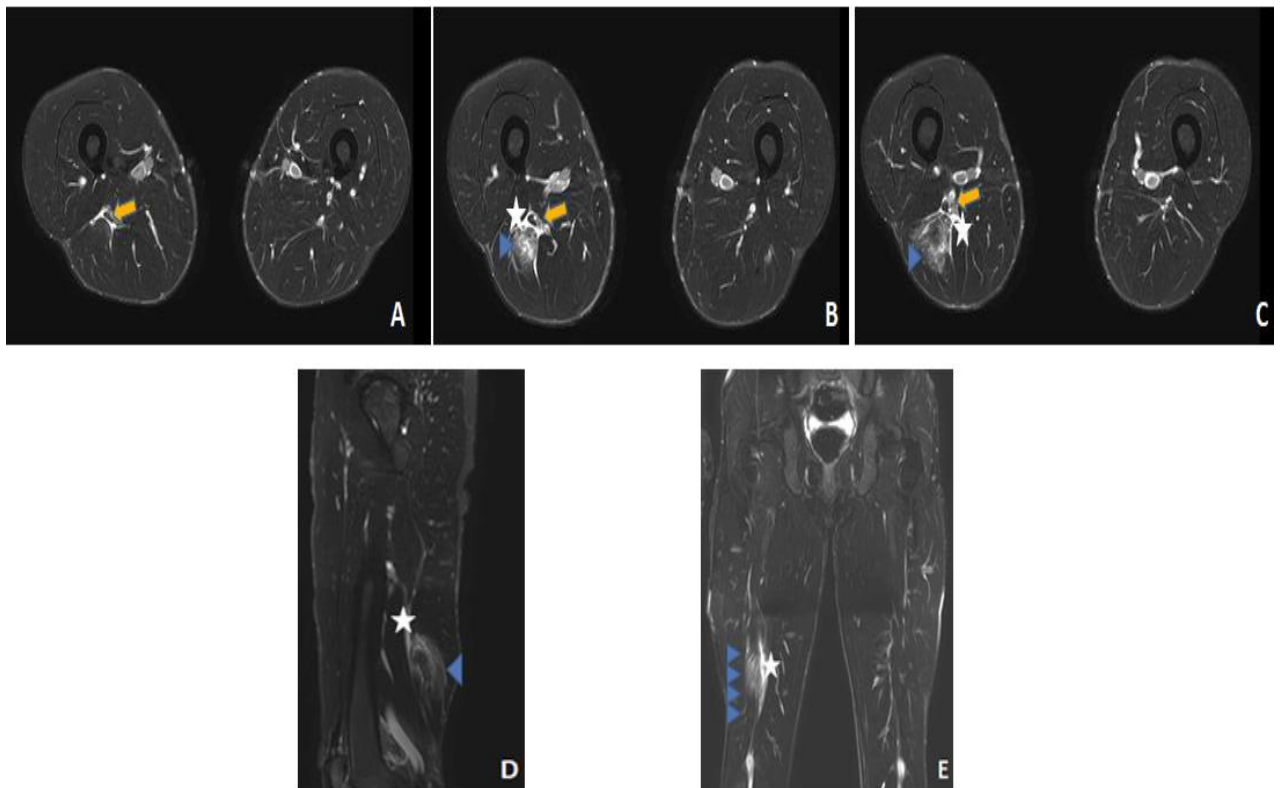


Figure 40 : Lésion du tendon et de la jonction myotendineuse du long biceps droit, avec œdème du nerf sciatique.

Séquences axiales (A, B et C), coronale (E) et sagittale T2 STIR (D) :
Anomalie du tendon du long biceps au niveau de sa partie moyenne, en hypersignal T2 (tête de flèche bleue), avec petite collection hématique mesurant 28 × 35 mm (étoile), associée à un hypersignal du nerf sciatique (flèche jaune).

4. Anomalies de signal

4.1. Répartition selon le type de signal

L'analyse du signal IRM montre une prédominance des hypersignaux T2, observés dans 21 cas, soit 56,8 % de l'ensemble des examens analysés. Les examens présentant un signal normal représentaient 15 cas, correspondant à 40,5 % des observations. Un hypersignal T2 isolé, compatible avec un tableau de type DOMS (figure 42), a été identifié dans un seul cas (2,7 %). Aucune image en hyposignal T2 n'a été retrouvée dans cette série.

Par ailleurs, l'analyse des séquences pondérées en T1 a mis en évidence un hypersignal T1 dans 16 cas (43,2 %) et un hyposignal T1 dans 6 cas (16,2 %). (Figure 41, Tableau 30).

Tableau 30 : Répartition des anomalies de signal IRM en fonction du type de signal chez les footballeurs de haut niveau.

Type de signal IRM	Fréquence (n)	Pourcentage
Signal normal	15	40,5 %
Hypersignal T2	21	56,8 %
Hypersignal T2 isolé (DOMS)	1	2,7 %
Hyposignal T2	0	0 %
Hypersignal T1	16	43,2 %
Hyposignal T1	6	16,2 %

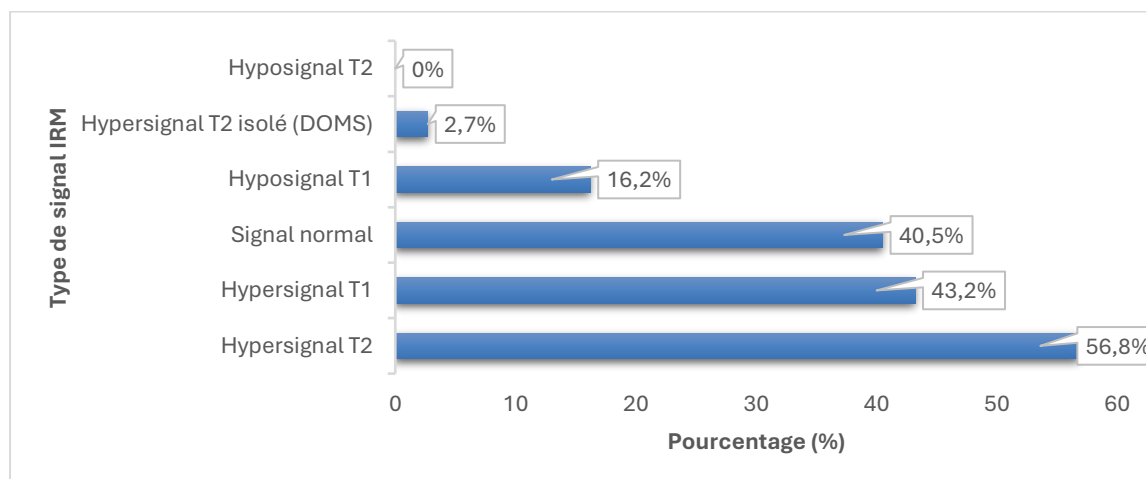


Figure 41 : Répartition des anomalies de signal IRM en fonction du type de signal chez les footballeurs de haut niveau.

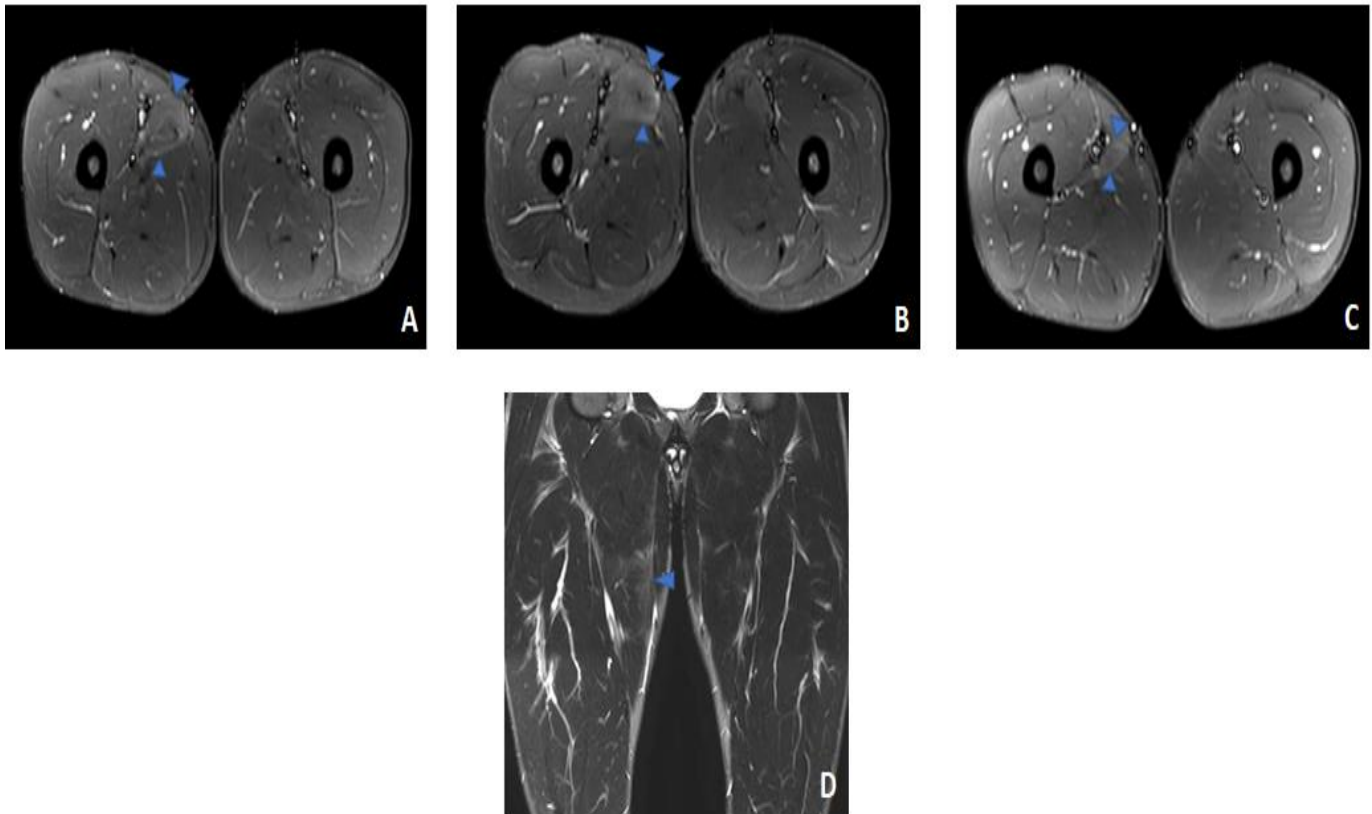


Figure 42 : DOMS du long adducteur droit.

Séquences axiales STIR (A, B et C) et coronale T2 DP Fat Sat (D) :
Hypersignal diffus et homogène du muscle long adducteur gauche (têtes de flèche).

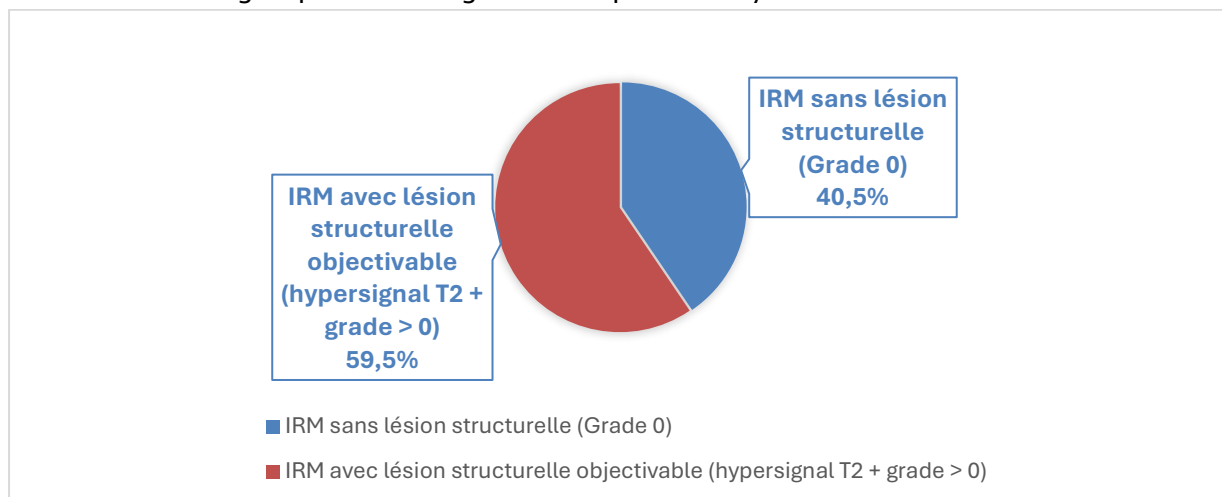
4.2. Répartition des footballeurs selon la présence d'une lésion structurelle IRM

L'analyse des examens IRM montre que la majorité des explorations mettait en évidence une lésion structurelle objectivable, associée à un hypersignal T2 et à un grade supérieur à 0, représentant 22 examens, soit 59,5 % de l'ensemble des IRM réalisées. À l'inverse, 15 examens ne montraient aucune lésion structurelle identifiable, correspondant à des IRM de grade 0, soit 40,5 % des cas. Ces résultats soulignent la prédominance des lésions structurelles détectables à l'IRM dans la population étudiée. (Figure 43, Tableau 31).

TABLEAU 31 : Répartition de la population selon la présence d'une lésion structurale IRM (Grade 0 vs Grade > 0).

Groupe IRM	Nombre (n)	Pourcentage
IRM sans lésion structurale (Grade 0)	15	40,5 %
IRM avec lésion structurale objectivable (hypersignal T2 + grade > 0)	22	59,5 %
TOTAL	37	100 %

NB : Les hypersignaux T2 classés grade 0b ont été considérés comme des lésions structurales et regroupés avec les grades > 0 pour l'analyse.

**FIGURE 43 : Répartition selon la présence d'une lésion structurale IRM.**

4.3. Répartition selon la désorganisation des fibres musculaires et tendineuse

Parmi les joueurs présentant un hypersignal T2 associé à une lésion structurale à l'IRM, 72,7 % présentaient une désorganisation des fibres musculaires, soit 16 cas sur 22. Les 27,3 % restants, correspondant à 6 joueurs, ne présentaient pas de désorganisation musculaire. (Figure 44, Figure 45 ,Tableau 32).

Tableau 32 : Répartition de la désorganisation des fibres musculaires chez les joueurs présentant un hypersignal T2 structuré (n = 22).

Désorganisation des fibres musculaires	Nombre (n)	Pourcentage
Oui	16	72,7 %
Non	6	27,3 %
TOTAL	22	100 %

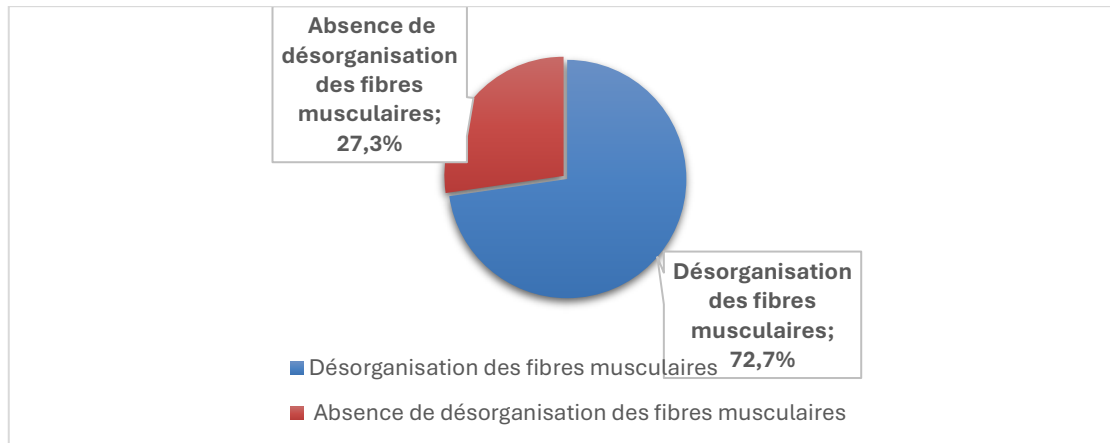


Figure 44 : Répartition des anomalies IRM selon la présence d'une désorganisation des fibres musculaires.

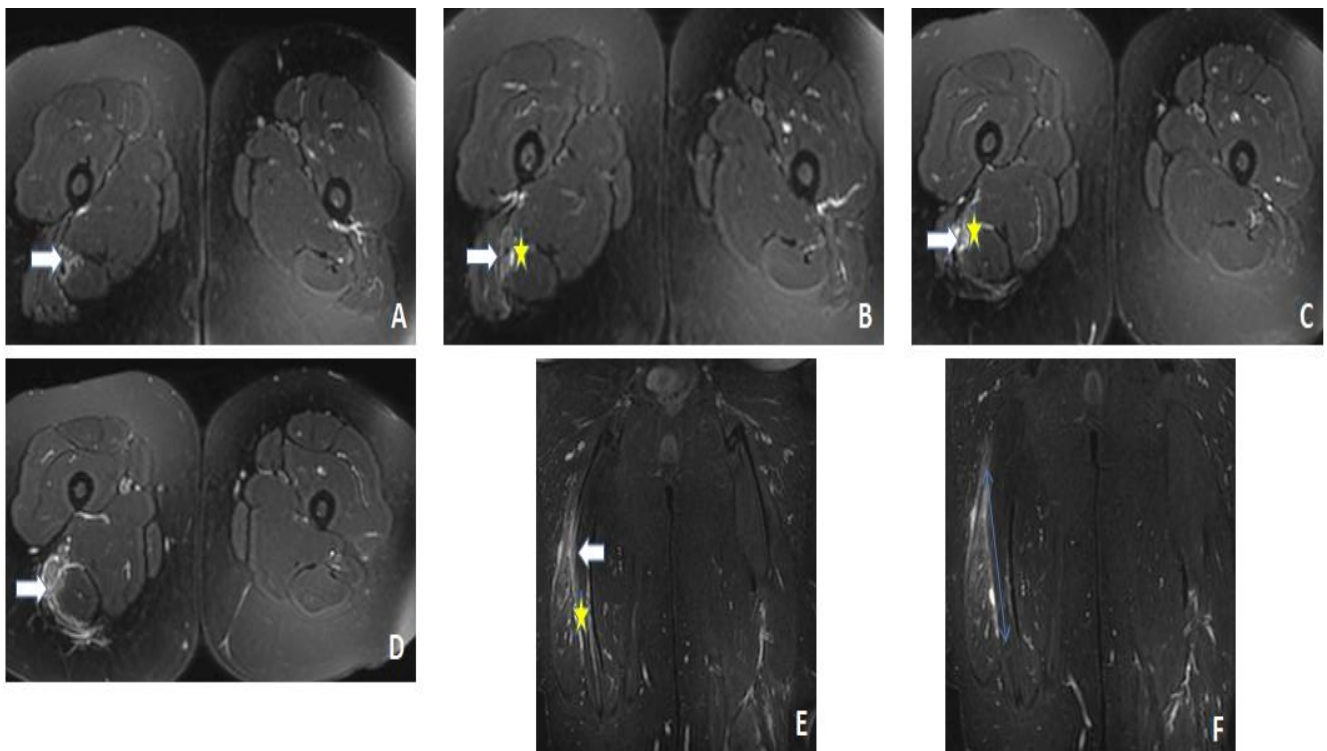


Figure 45 : Lésion myotendineuse du long biceps droit.

Séquences axiales (A, B, C et D) et coronales (E et F) T2 STIR :

Rupture partielle de la jonction du tendon conjoint au muscle (flèche blanche), avec une collection hématique minime (étoiles) et une désorganisation < 50 % (flèche bleue).

5. Anomalies lésionnelles

5.1 Répartition selon le type d'anomalie

Dans ce groupe de 22 joueurs présentant une lésion structurelle objectivée à l'IRM, les anomalies lésionnelles les plus fréquemment observées étaient l'hématome, retrouvé dans 72,7 % des cas (16 joueurs), ainsi que la rupture partielle et l'épaississement aponévrotique ou d'une cloison conjonctive, présents respectivement dans 68,2 % (15 joueurs) et 59,1 % des cas (13 joueurs). Les collections péri-aponévrotiques étaient également fréquentes, identifiées dans 50,0 % des cas (11 joueurs).

Le décollement inter-aponévrotique était moins courant, observé dans 27,3 % des cas (6 joueurs). Les anomalies plus sévères, telles que la rupture totale et la rétraction musculaire, demeuraient peu fréquentes, retrouvées respectivement dans 13,6 % (3 joueurs) et 9,1 % des cas (2 joueurs). L'avulsion restait exceptionnelle, identifiée dans un seul cas (4,5 %). (Figure 46, Tableau 33).

Tableau 33 : répartition des anomalies lésionnelles (n = 22 joueurs présentant une lésion structurelle IRM).

Anomalies lésionnelles	Nombre de joueurs (oui)	Pourcentage
Avulsion	1	4,5 %
Rupture totale	3	13,6 %
Rupture partielle	15	68,2 %
Rétraction	2	9,1 %
Épaississement aponévrotique / cloison conjonctive	13	59,1 %
Décollement inter-aponévrotique	6	27,3 %
Hématome	16	72,7 %
Collection péri-aponévrotique	11	50,0 %

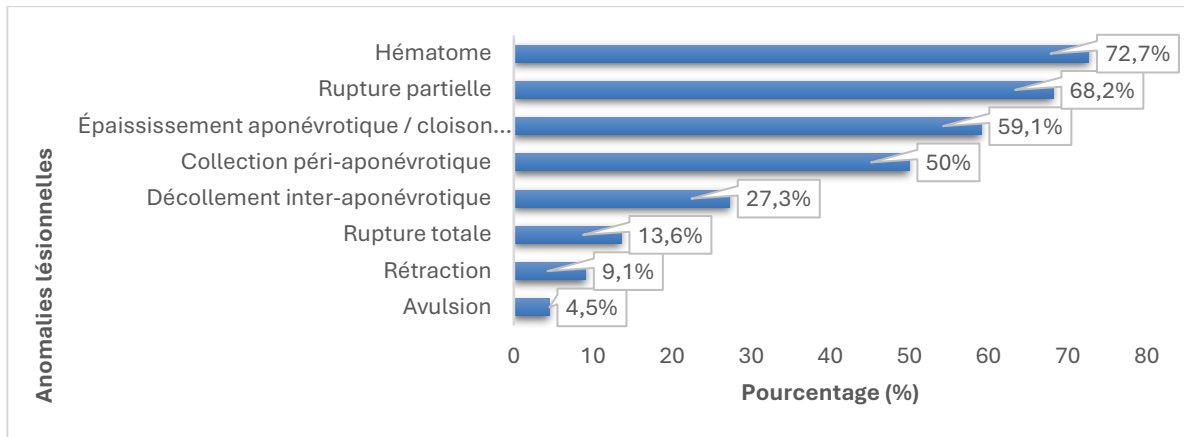


Figure 46 : Répartition des anomalies lésionnelles selon les footballeurs présentant une lésion structurale IRM (n=22).

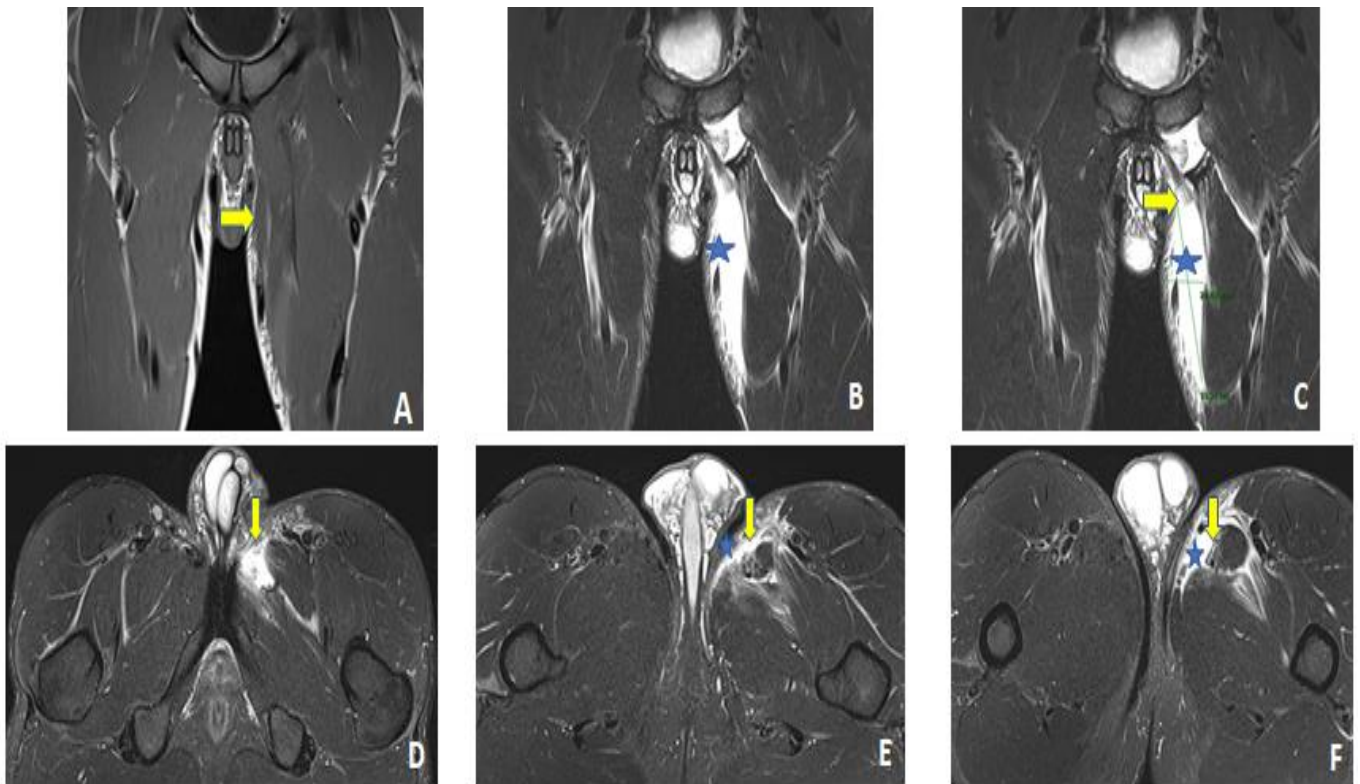


Figure 47 : Rupture totale proximale du long adducteur gauche avec hématome.

Séquences coronales (A, B et C), axiales T2 STIR (D, E et F) et coronale T1 (A) : Rupture totale avec avulsion et rétraction tendineuse (flèches jaunes), associée à un hématome (étoiles).

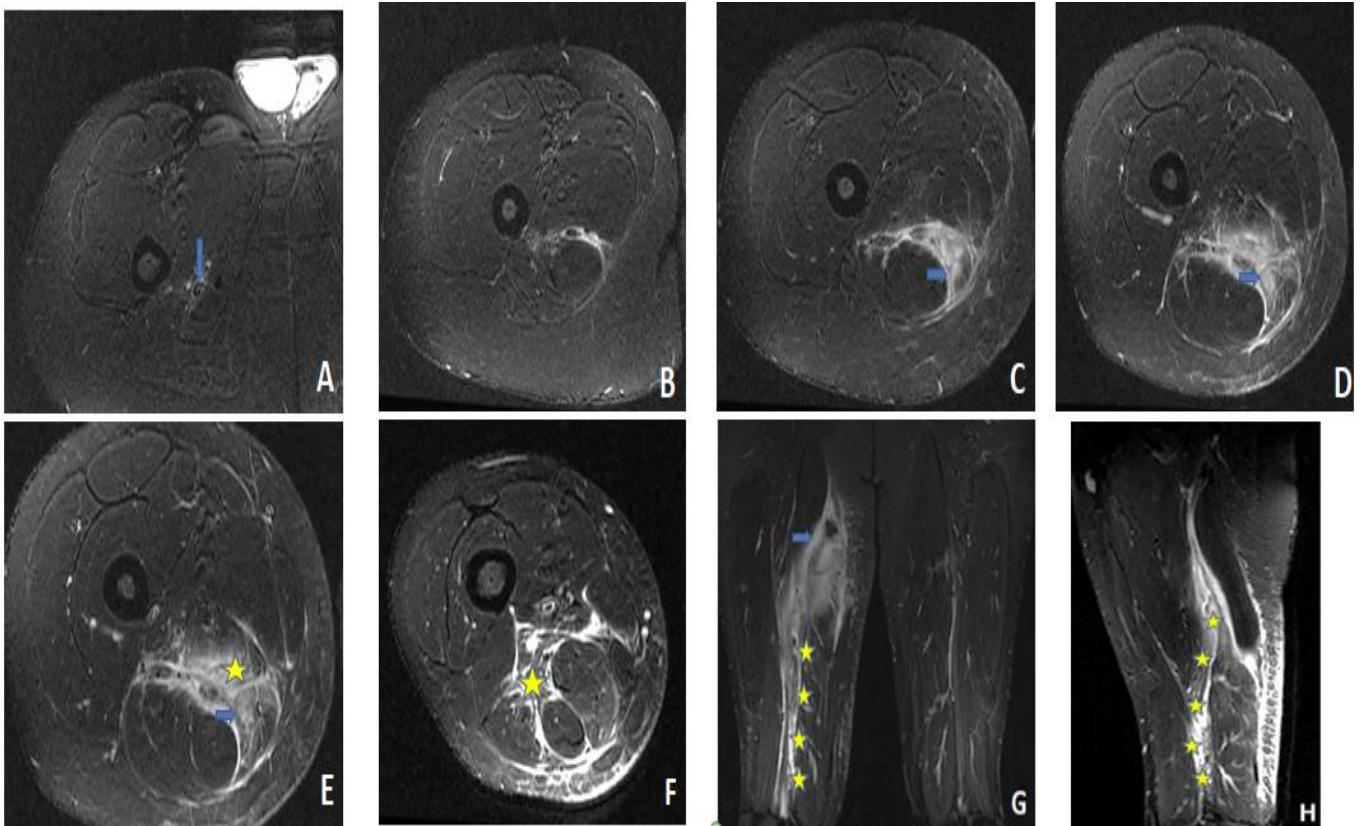


Figure 48 : Lésion de l'aponévrose proximale et myo-aponévrotique du semi-membraneux.

Séquences T2 STIR axiales (A, B, C, D, E et F), coronale (G) et sagittale DP Fat Sat (H) :
Rupture totale de l'aponévrose proximale du semi-membraneux, en hypersignal avec rétraction (flèche) et collection hématique ; l'ensemble des anomalies est étendu sur 120 mm (étoile).

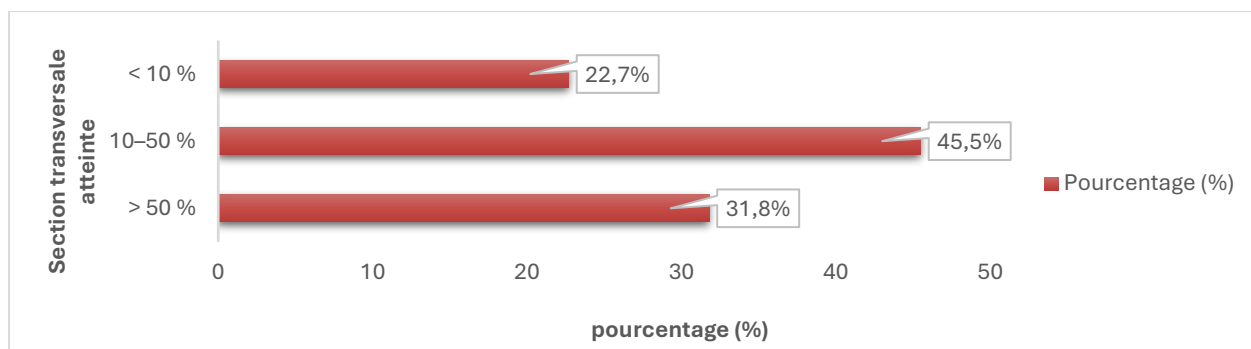
6. Estimation de la taille de la lésion

6.1 Section transversale atteinte

Parmi les cas étudiés, 10 footballeurs (45,5 %) présentaient des lésions intéressant 10 à 50 % de la section transversale, constituant ainsi la catégorie la plus représentée. Les atteintes étendues, couvrant plus de 50 % de la section transversale, ont été observées chez 7 footballeurs (31,8 %), tandis que les lésions limitées à moins de 10 % concernaient 5 cas (22,7 %). (Figure 49, Tableau 34).

Tableau 34 : Répartition des lésions selon la section transversale atteinte (n = 22).

Section transversale atteinte	Nombre de footballeurs (n)	Pourcentage
< 10 %	5	22,7 %
10-50 %	10	45,5 %
> 50 %	7	31,8 %
TOTAL	22	100 %

**Figure 49 : Répartition des lésions selon la section transversale atteinte chez les footballeurs présentant une lésion structurelle à l'IRM (n = 22).**

6.2 Section longitudinale atteinte

Les lésions mesurant entre 5 et 10 cm étaient les plus fréquentes, retrouvées chez 9 joueurs (40,9 %). Les atteintes inférieures à 5 cm et celles dépassant 10 cm étaient moins fréquentes, concernant respectivement 7 joueurs (31,8 %) et 6 joueurs (27,3 %). (Figure 50, Tableau 35).

Tableau 35 : Répartition des lésions selon la section transversale atteinte (n = 22).

Section longitudinale atteinte	Nombre de footballeurs (n)	Pourcentage
< 5 cm	7	31,8 %
5-10 cm	9	40,9 %
> 10 cm	6	27,3 %
TOTAL	22	100 %

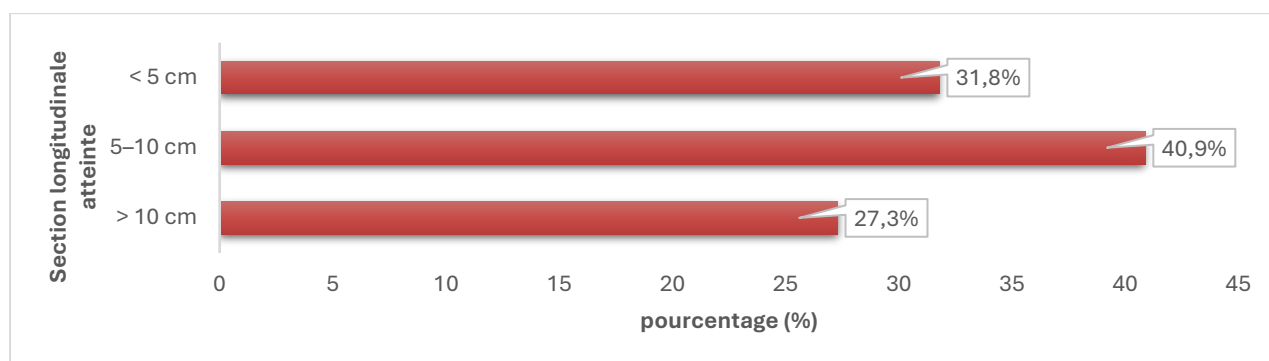


Figure 50 : Répartition des lésions selon la section longitudinale atteinte chez les footballeurs présentant une lésion structurelle à l'IRM (n = 22).

7. Classifications des lésions

7.1 La classification Athlétisme Britannique (UK)

L'analyse des 37 lésions musculaires selon la classification britannique (UK Athletics) montre que 56,8 % des cas (21/37) sont des lésions légères, incluant 40,5 % de grade 0 (douleurs post-effort sans anomalie structurale visible à l'IRM), 2,7 % de grade 0b (anomalies de signal localisées sans rupture fibreuse), et 5,4 % de grade 1a (lésions myofasciales mineures). Les 43,2 % restants (16/37) correspondent à des lésions modérées à graves, réparties en 18,9 % de grade 2a (ruptures myofasciales modérées), 8,1 % de grade 2c (atteintes intratendineuses partielles), 5,4 % de grade 3b (ruptures étendues de la jonction myotendineuse), 8,1 % de grade 3c (ruptures intratendineuses étendues), et 10,8 % de grades 4 et 4c (ruptures complètes avec ou sans rétraction). Cette répartition met en évidence une majorité de lésions légères, tout en soulignant une proportion non négligeable de lésions graves nécessitant une prise en charge spécifique. (Tableau 36).

Tableau 36 : Répartition des lésions selon la classification Athlétisme Britannique (UK) (n = 37).

Grade	Fréquence (n)	Pourcentage
Grade 0	15	40,5 %
Grade 0b	1	2,7 %
Grade 1a	2	5,4 %
Grade 2a	7	18,9 %
Grade 2c	3	8,1 %
Grade 3b	2	5,4 %
Grade 3c	3	8,1 %
Grade 4	2	5,4 %
Grade 4c	2	5,4 %
TOTAL	37	100 %

7.2 La classification de Peetrans modifiée

L'analyse des 37 lésions musculaires selon la classification de Peetrans modifiée révèle que 43,2 % des cas (16/37) sont classés en grade 0, caractérisés par une absence d'anomalie structurale visible à l'IRM malgré des symptômes cliniques. Les lésions de grade 1, représentant 13,5 % des cas (5/37), montrent un œdème sans anomalie architecturale musculo-tendineuse. Les grades 2, qui correspondent à des ruptures partielles avec dégradation de l'architecture musculo-tendineuse, constituent 24,3 % des lésions (9/37). Enfin, les grades 3, indiquant des ruptures complètes, représentent 18,9 % des cas (7/37). Cette répartition souligne une prédominance des lésions légères à modérées (grades 0 et 1), tout en mettant en évidence une proportion significative de lésions graves (grades 2 et 3) nécessitant une prise en charge adaptée. (Tableau 37).

Tableau 37 : Répartition des lésions selon la classification de Peetrans modifiée (n = 37).

Grade	Fréquence (n)	Pourcentage
Grade 0	16	43,2 %
Grade 1	5	13,5 %
Grade 2	9	24,3 %
Grade 3	7	18,9 %
TOTAL	37	100 %

7.3 La classification INSEP (Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance)

L'analyse des 37 lésions musculaires selon la classification INSEP montre que 43,2 % des cas (16/37) sont classés en grade 0, correspondant à des lésions sans anomalie structurale visible à l'IRM. Les grades 1, représentant 5,4 % des cas (2/37), indiquent des lésions légères avec un œdème localisé. Les grades 2, qui correspondent à des lésions modérées avec une atteinte partielle des fibres musculaires ou tendineuses, constituent 16,2 % des cas (6/37). Les grades 3, représentant 29,7 % des lésions (11/37), montrent des ruptures partielles étendues, tandis que les grades 4, correspondant à des ruptures complètes, représentent 5,4 % des cas (2/37). Cette répartition met en évidence une majorité de lésions légères à modérées (grades 0, 1 et 2), tout en soulignant une proportion notable de lésions graves (grades 3 et 4). (Tableau 38).

Tableau 38 : Répartition des lésions selon la classification INSEP (n = 37).

Grade	Fréquence (n)	Pourcentage
Grade 0	16	43,2 %
Grade 1	2	5,4 %
Grade 2	6	16,2 %
Grade 3	11	29,7 %
Grade 4	2	5,4 %
TOTAL	37	100 %

7.4 Classification FC Barcelone – Aspetar – Duke

L'analyse des 37 lésions musculaires selon la classification FC Barcelone – Aspetar – Duke révèle que 43,2 % des cas (16/37) sont classés en grade 0, indiquant une absence d'anomalie structurale visible à l'IRM. Les grades 0b et 1a, représentant respectivement 2,7 % des cas (1/37 chacun), correspondent à des anomalies de signal localisées ou à des lésions myofasciales mineures. Les grades 2a (18,9 %, 7/37) et 2c (10,8 %, 4/37) indiquent des ruptures partielles myofasciales ou intratendineuses modérées. Les grades 3b (5,4 %, 2/37) et 3c (8,1 %, 3/37) correspondent à des ruptures étendues de la jonction myotendineuse ou intratendineuses. Enfin, les grades 4 (5,4 %, 2/37) et 4c (2,7 %, 1/37) représentent des ruptures complètes avec ou sans rétraction. Cette répartition montre une prédominance des lésions

légères (grades 0, 0b, et 1a) et une présence significative de lésions modérées à graves (grades 2 à 4c). (Tableau 39).

Tableau 39 : Classification FC Barcelone – Aspetar – Duke des lésions IRM (n = 37).

Grade	Fréquence (n)	Pourcentage
Grade 0	16	43,2 %
Grade 0b	1	2,7 %
Grade 1a	1	2,7 %
Grade 2a	7	18,9 %
Grade 2c	4	10,8 %
Grade 3b	2	5,4 %
Grade 3c	3	8,1 %
Grade 4	2	5,4 %
Grade 4c	1	2,7 %
TOTAL	37	100 %

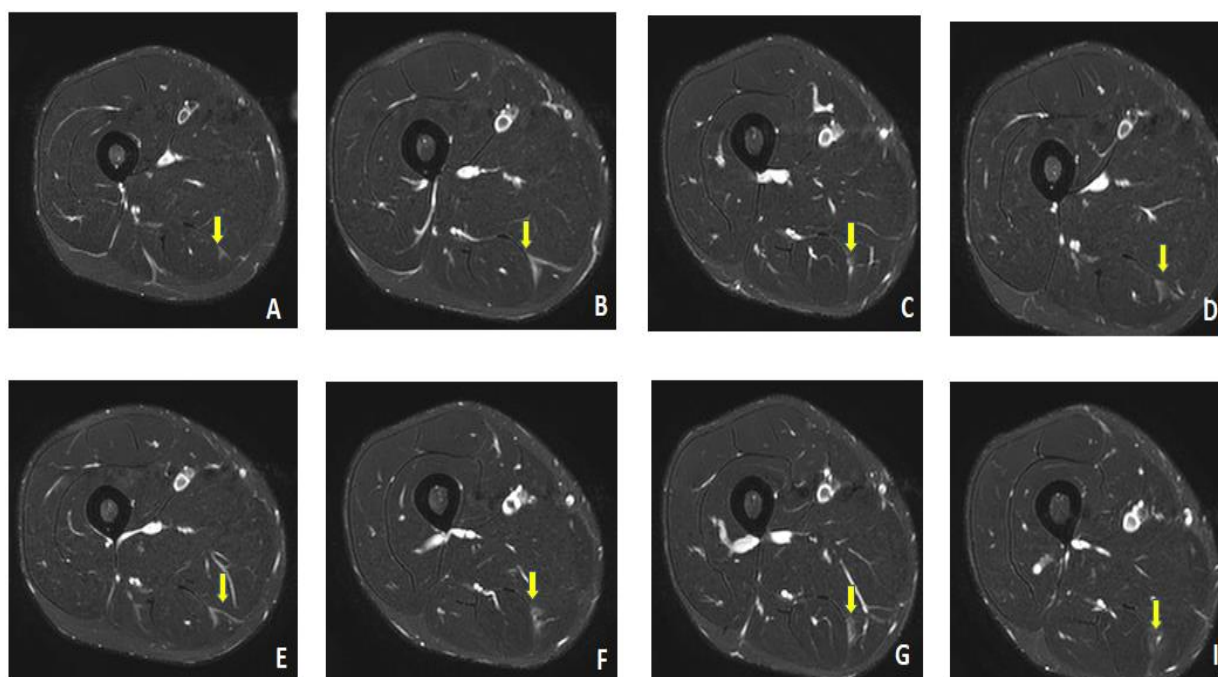


Figure 51 : Lésion inter-aponévrotique entre le semi-membraneux et le semi-tendineux, classée BAMIC 1a, INSEP 1c, Peetrans 1, Aspetar 1a.

Séquences axiales T2 STIR :

Épaississement homogène de l'aponévrose entre le semi-membraneux et le semi-tendineux, au niveau de son tiers moyen, en hypersignal, sans rétraction ni anomalie intramusculaire (flèches).

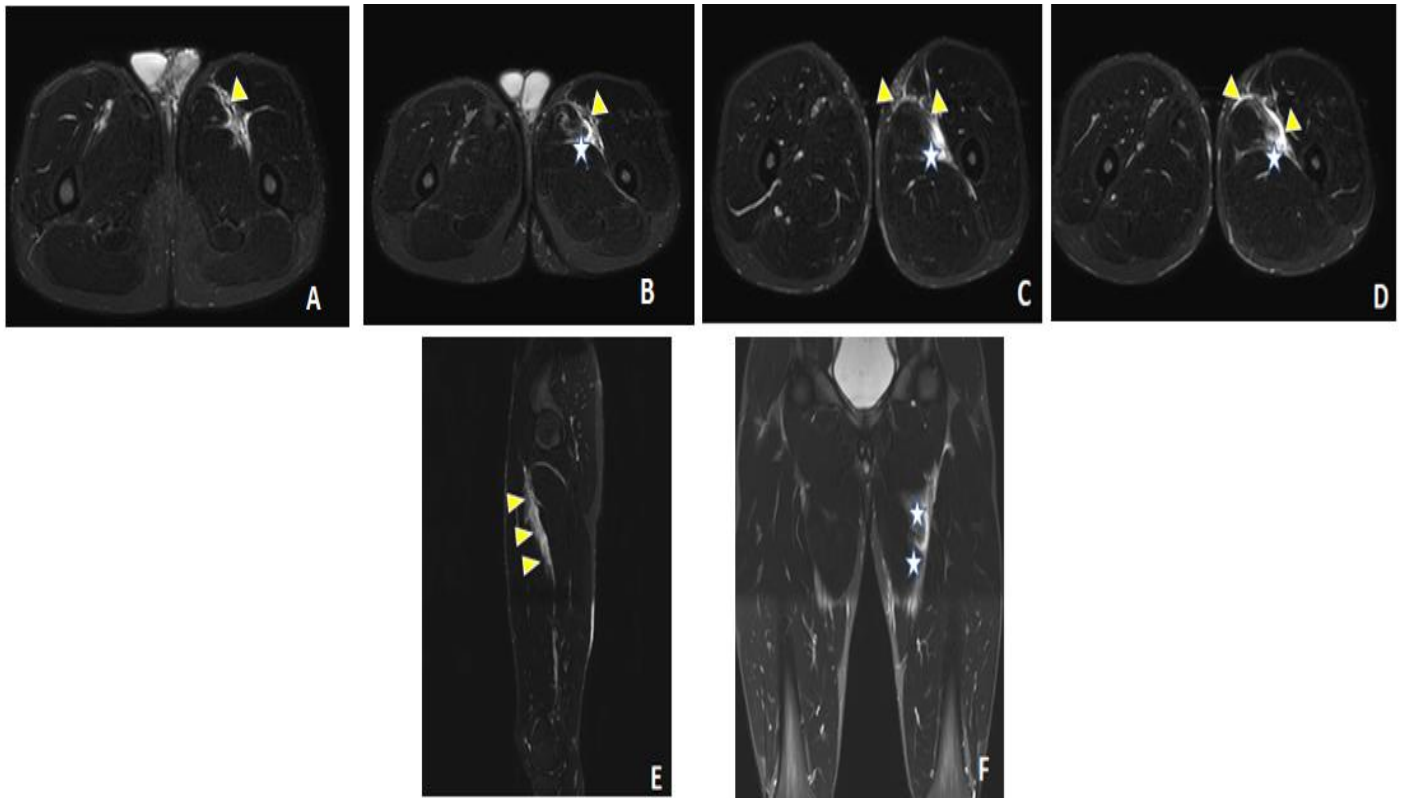


Figure 52 : Rupture myo-aponévrotique partielle du long adducteur gauche, classée BAMIC 2c, INSEP 3M-3C, Peetrons 2, Aspetar 2b.

Séquences axiales (A, B, C et D) et sagittale (E) T2 STIR, et DP Fat Sat coronale (F) :

Anomalie de signal de la cloison horizontale du long adducteur et de la zone myo-aponévrotique adjacente (tête de flèche), avec collection hématique intramusculaire et péri-aponévrotique entre le sartorius et le long adducteur, en hypersignal franc T2, mesurant 12 × 95 mm (étoile).

IV. Associations entre l'hématome clinique et la sévérité lésionnelle

Tableau 40 : Associations entre les données cliniques, IRM et la sévérité lésionnelle chez les footballeurs.

Variable	Athlétisme britannique		p	Peetrons modifiée		p	INSEP		p	FC Barcelone – Aspetar – Duke		p
	Sévère n (%)	Non sévère n (%)		Sévère n (%)	Non sévère n (%)		Sévère n (%)	Non sévère n (%)		Sévère n (%)	Non sévère n (%)	
Hématome clinique			0,001			0,003			0,005			0,001
Oui	05 (50,0)	05 (50,0)		04 (40,0)	06 (60,0)		06 (60,0)	04 (40,0)		05 (50,0)	05 (50,0)	
Non	00 (0,0)	27 (100)		00 (0,0)	27 (100)		03 (11,1)	24 (88,9)		00 (0,0)	27 (100)	
Hypersignal T2 étendu			0,004			0,010			< 0,001			0,004
Oui	05 (33,3)	10 (66,7)		04 (26,7)	11 (73,3)		09 (60,0)	06 (40,0)		05 (33,3)	10 (66,7)	
Non	00 (0,0)	22 (100)		00 (0,0)	22 (100)		00 (0,0)	22 (100)		00 (0,0)	22 (100)	
Aspect bleuâtre de la peau			0,121			0,066			0,384			0,121
Oui	01 (50,0)	01 (50,0)		01 (50,0)	01 (50,0)		01 (50,0)	01 (50,0)		01 (50,0)	01 (50,0)	
Non	04 (11,4)	31 (88,6)		03 (8,6)	32 (91,4)		08 (22,9)	27 (77,1)		04 (11,4)	31 (88,6)	
Antécédents musculaires			0,416			0,175			0,391			0,416
Oui	03 (18,8)	13 (81,3)		03 (18,8)	13 (81,3)		05 (31,3)	11 (68,8)		03 (18,8)	13 (81,3)	
Non	02 (9,5)	19 (90,5)		01 (4,8)	20 (95,2)		04 (19,0)	17 (81,0)		02 (9,5)	19 (90,5)	
Sexe			0,805			0,614			0,574			0,805
Homme	04 (12,9)	27 (87,1)		03 (9,7)	28 (90,3)		07 (22,6)	24 (77,4)		04 (12,9)	27 (87,1)	
Femme	01 (16,7)	05 (83,3)		01 (16,7)	05 (83,3)		02 (33,3)	04 (66,7)		01 (16,7)	05 (83,3)	
Âge (années)	26,4 ± 5,5	24,8 ± 4,1	0,455	28,0 ± 4,9	24,7 ± 4,1	0,146	24,4 ± 4,6	25,3 ± 4,2	0,629	26,4 ± 5,5	24,8 ± 4,1	0,455

L'analyse des associations entre les données cliniques, les anomalies IRM et la sévérité lésionnelle, évaluée selon les différentes classifications IRM (Athlétisme britannique, Peetrans modifiées, INSEP et FC Barcelone-Aspetar-Duke), a montré des résultats contrastés selon les variables étudiées chez les footballeurs inclus dans l'étude.

La présence d'un hématome clinique était significativement associée à des lésions sévères, quelle que soit la classification utilisée. Cette association était statistiquement significative pour la classification Athlétisme britannique ($p = 0,001$), Peetrans ($p = 0,003$), INSEP ($p = 0,005$) et FC Barcelone-Aspetar-Duke ($p = 0,001$). En effet, la proportion de lésions sévères était nettement plus élevée chez les footballeurs présentant un hématome clinique que chez ceux n'en présentant pas.

De même, la présence d'un hypersignal T2 étendu était fortement associée à la sévérité des lésions musculaires. Cette association était significative pour toutes les classifications IRM étudiées : Athlétisme britannique ($p = 0,004$), Peetrans ($p = 0,010$), INSEP ($p < 0,001$) et FC Barcelone-Aspetar-Duke ($p = 0,004$). Aucune lésion sévère n'était observée en l'absence d'hypersignal T2 étendu chez les footballeurs de la cohorte.

En revanche, la présence d'un aspect bleuâtre de la peau n'était pas significativement associée à la sévérité lésionnelle, quelle que soit la classification IRM utilisée ($p > 0,05$ pour l'ensemble des analyses). De même, l'existence d'antécédents de lésions musculaires ne montrait pas d'association statistiquement significative avec la gravité des lésions lors de l'épisode actuel, bien qu'une tendance à des lésions plus sévères ait été observée chez les footballeurs présentant des antécédents, sans atteindre le seuil de significativité.

Aucune association significative n'a été mise en évidence entre le sexe des footballeurs et la sévérité des lésions musculaires dans les différentes classifications IRM ($p > 0,05$). Par ailleurs, l'analyse de l'âge n'a pas montré de différence significative entre les groupes présentant des lésions sévères et non sévères, quelle que soit la classification considérée ($p > 0,05$).



DISCUSSION



I. Rappels anatomiques du membre inférieur

Le membre inférieur est une structure spécialisée dans la locomotion, la stabilité posturale et la propulsion, soumise à des contraintes mécaniques intenses, en particulier chez les footballeurs . Son organisation en segments fonctionnels (ceinture pelvienne, cuisse, jambe, pied) reflète cette adaptation aux mouvements dynamiques. Les lésions musculaires, fréquentes chez les footballeurs, sont souvent liées à des déséquilibres structurels ou à des contraintes répétitives sur ces segments [10,11] .

A. Squelette du Membre Inférieur

1. Ceinture pelvienne et os coxal

- Os coxal : Formé par la fusion de l'ilium, de l'ischium et du pubis, il s'articule avec le sacrum pour former la ceinture pelvienne, base de transmission des forces entre le tronc et les membres inférieurs.
 - Tubérosité ischiatique : Point d'origine des ischio-jambiers, zone clé pour les contraintes mécaniques [12].
 - Épine iliaque antéro-supérieure (EIAS) et pubis : Insertions des muscles abducteurs et adducteurs.

2. Fémur

Os long et robuste, divisé en :

- Extrémité proximale :
 - Tête fémorale : Articulation avec l'acétabulum (articulation coxo-fémorale).
 - Col fémoral : Zone de fragilité en cas de traumatismes.
 - Trochanters (grand et petit) : Insertions des muscles fessiers et rotateurs latéraux.
- Diaphyse :
 - Ligne âpre : Insertion des vastes et du chef court du biceps fémoral.
- Extrémité distale :
 - Condyles fémoraux (médial et latéral) : Articulation avec le tibia (genou).

- Fosse intercondyloire : Loge des ligaments croisés.
- Épicondyles : Insertions des ligaments collatéraux [13] .

3. Tibia et fibula

- **Tibia :**
 - Plateau tibial proximal : Articulation avec les condyles fémoraux.
 - Tubérosité tibiale : Insertion du tendon patellaire.
 - Malléole médiale : Stabilisation de la cheville.
- **Fibula :**
 - Tête fibulaire : Articulation avec le tibia (proximale).
 - Malléole latérale : Stabilisation latérale de la cheville.
 - Insertions musculaires : Biceps fémoral (tête), long fibulaire (diaphyse) [14].

4. Pied

Composé de 26 os organisés en :

- Tarse : Talus, calcaneus, naviculaire, cuboïde, cunéiformes.
- Métatarse : 5 os longs.
- Phalanges : 14 os (2 pour le gros orteil, 3 pour les autres).
- Fonctions : Absorption des chocs, propulsion, et équilibre [15].

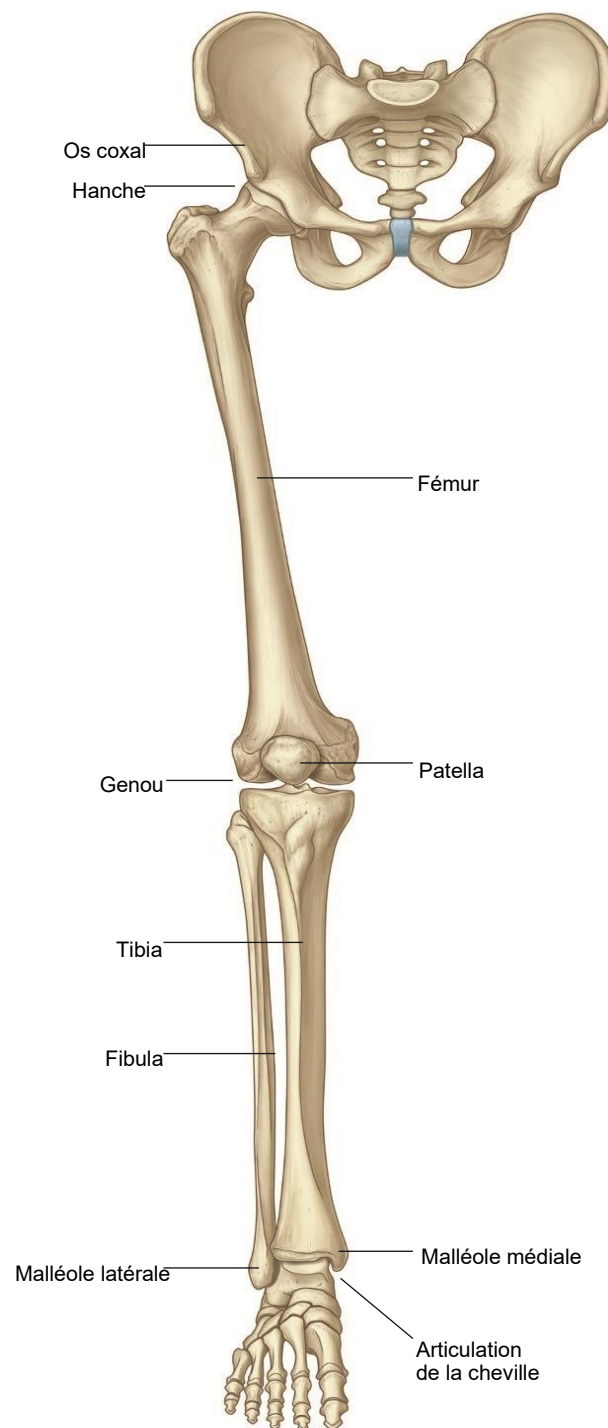


Figure 53 : Organisation anatomique du membre inférieur et de ses principales articulations.[16]

B. Articulations du Membre Inférieur

1. Articulation coxo-fémorale

- Type : Enarthrose (mouvements multi-axiaux).
- Stabilité :
 - Ligaments : Ilio-fémoral (limite l'extension), pubo-fémoral (limite l'abduction), ischio-fémoral (limite la rotation médiale).
 - Labrum acétabulaire : Fibrocartilage augmentant la congruence articulaire [17]

2. Articulation du genou

- Composantes :
 - Fémoro-patellaire : Trochlée fémorale et patella.
 - Fémoro-tibiale : Condyles fémoraux et plateaux tibiaux.
- Stabilité :
 - Ligaments croisés (antérieur et postérieur) : Contrôlent les translations antéro-postérieures.
 - Ligaments collatéraux (médial et latéral) : Limitent les mouvements en valgus/varus.
 - Menisques (médial et latéral) : Amortissent les chocs et répartissent les pressions [18].

3. Articulations de la cheville et du pied

- Talibocrurale :
 - Type : Charnière (flexion dorsale/plantaire).
 - Stabilité : Ligaments médial (deltiforme) et latéral (fibulaire).
- Sous-talienne et transverse du tarse : Permettent les mouvements de pronation/supination

C. Groupe Musculaires du Membre Inférieur

Les muscles du membre inférieur sont répartis en loges anatomiques distinctes, séparées par des fascias profonds et des septums intermusculaires. Dans la cuisse, la loge postérieure contient les ischio-jambiers, la loge antérieure le quadriceps et la loge médiale les adducteurs, trois groupes particulièrement concernés par les lésions musculaires chez les footballeurs. Dans la jambe, le compartiment postérieur comprend le triceps sural, également impliqué dans les atteintes musculaires des sportifs.

Cette disposition anatomique constitue le cadre structurel au sein duquel s'organisent les groupes musculaires particulièrement impliqués dans les lésions observées chez les sportifs.

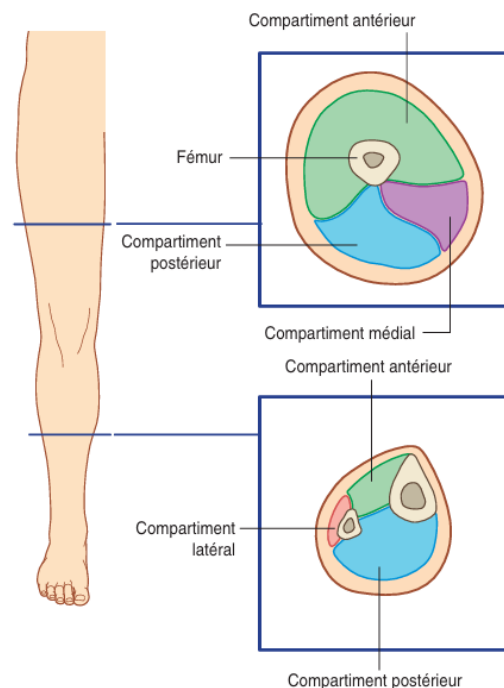


Figure 54 : L'organisation compartimentale du membre inférieur est illustrée à la figure [16].

Représentation schématique des loges musculaires de la cuisse et de la jambe en coupe transversale. La cuisse est divisée en trois compartiments anatomiques distincts : antérieur (quadriceps), médial (adducteurs) et postérieur (ischio-jambiers). La jambe comprend principalement les compartiments antérieur, latéral et postérieur, ce dernier incluant le triceps sural. Cette organisation compartimentale, délimitée par des fascias profonds et des septums

intermusculaires, constitue le cadre anatomique dans lequel surviennent la majorité des lésions musculaires chez les sportifs.

1. Ischio-jambiers

Les ischio-jambiers constituent le groupe musculaire postérieur de la cuisse. Ils comprennent trois muscles principaux — le biceps fémoral, le semi-tendineux et le semi-membraneux — auxquels s'ajoute le chef court du biceps fémoral.

L'ensemble intervient dans l'extension de la hanche et la flexion du genou, fonctions essentielles lors de la course et des actions explosives, notamment en football [5,19].

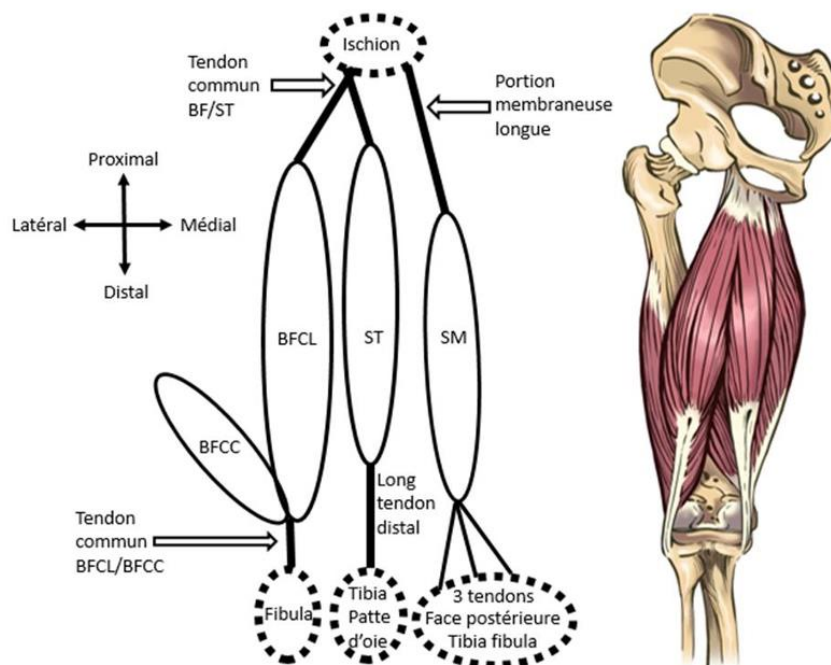


Figure 55 : anatomie des ischio-jambiers [20]

Schéma simplifié (gauche) et dessin (droite).

1.1 Organisation générale du groupe musculaire

À l'exception du chef court du biceps fémoral, les ischio-jambiers prennent naissance à la tubérosité ischiatique. Leur architecture repose sur un réseau complexe de tendons, d'aponévroses et de septa intramusculaires, conditionnant leur comportement biomécanique et la localisation préférentielle de leurs lésions [5,21].

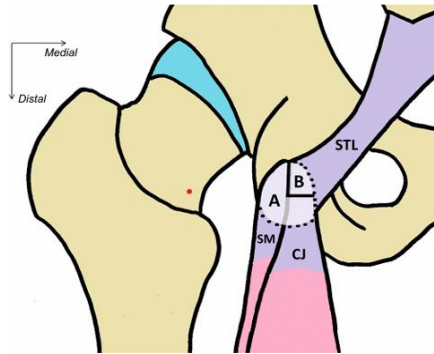


Figure 56 : Schéma de l'insertion tendineuse proximale des ischio-jambiers au niveau de la tubérosité ischiatique [22].

Vue postérieure du bassin gauche. Le ligament sacrotubéral (STL) est représenté en superficie, en rapport étroit avec la région d'insertion proximale des ischio-jambiers.

La zone A correspond à l'empreinte proximale du tendon des ischio-jambiers sans participation de la portion proximale du tendon conjoint (CJ),

Tandis que la zone B représente la partie proximale de l'empreinte du tendon conjoint.

Le semi-membraneux (SM) présente une empreinte d'insertion distincte sur la tubérosité ischiatique.

1.2 Biceps fémoral

1.2-1 Chef long

- Origine : tubérosité ischiatique par l'intermédiaire d'un tendon proximal conjoint partagé avec le semi-tendineux[5].
- Trajet : face postéro-latérale de la cuisse.
- Insertion : tête de la fibula.
- Innervation : branche tibiale du nerf sciatique.

Le tendon proximal se prolonge sous la forme d'un tendon intramusculaire, constituant la jonction myotendineuse proximale [19].

Dans son tiers distal, le muscle présente une organisation complexe en double « fermeture éclair » profonde et superficielle, convergeant vers une jonction en « T », reconnue comme une zone particulièrement vulnérable lors de la course rapide [3,21].

1.2-2 Chef court

- Origine : ligne âpre du fémur.
- Insertion : tête de la fibula, avec fusion distale avec le chef long.
- Innervation : branche fibulaire commune du nerf sciatique.

Le chef court est mono-articulaire et intervient exclusivement dans la flexion du genou [23].

1.3 Semi-tendineux

- Origine : tubérosité ischiatique par l'intermédiaire du tendon conjoint, complétée par une insertion myo-osseuse directe [5].
- Trajet : muscle fusiforme comportant une raphe intramusculaire longitudinale [19].
- Insertion : face antéro-médiale du tibia proximal, au niveau de la patte d'oie.
- Innervation : branche tibiale du nerf sciatique.

Le semi-tendineux se caractérise par une longue portion tendineuse distale, facilement identifiable en imagerie [3].

1.4 Semi-membraneux

- Origine : versant antéro-latéral de la tubérosité ischiatique.
- Insertion : face postéro-médiale du tibia, avec des expansions capsulaires et ligamentaires.
- Innervation : branche tibiale du nerf sciatique.

1.4-1 Aponévrose proximale en éventail

La portion proximale du semi-membraneux est caractérisée par une large aponévrose en éventail, au sein de laquelle les fibres musculaires s'organisent en trois régions distinctes [5,24]:

- Région A : fibres issues du versant médial ;
- Région B : fibres issues des versants médial et latéral ;
- Région C : fibres bipennées provenant de la jonction myo-aponévrotique distale.

Les régions B et C présentent une densité conjonctive plus élevée et sont associées à des lésions plus sévères [24].

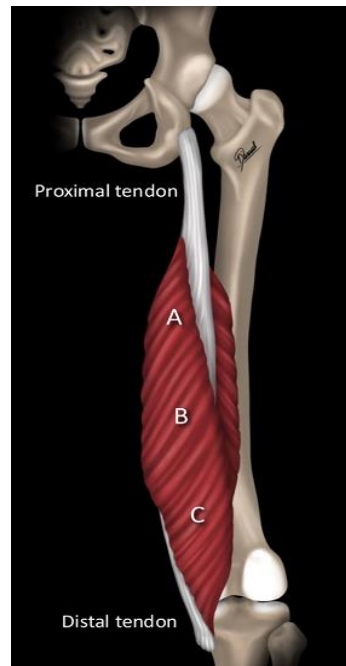


Figure 57 : Trois régions anatomiques (A, B, C) du muscle semi-membraneux [5].

1.5 Organisation des tissus conjonctifs du groupe ischio-jambier

1.5-1 Tendon proximal conjoint

Le tendon proximal conjoint est partagé entre le biceps fémoral (chef long) et le semi-tendineux. Il constitue un repère anatomique majeur et représente une zone fréquente de jonction muscle-tendon [5,21].

1.5-2 Jonctions myotendineuses

- Proximales : formées par le tendon conjoint pour le biceps fémoral et le semi-tendineux, et par l'aponévrose proximale en éventail du semi-membraneux [5].
- Distales :
 - Organisation complexe pour le biceps fémoral (double fermeture éclair et jonction en « T »),
 - Organisation plus simple pour le semi-tendineux,
 - Architecture bipennée pour le semi-membraneux [3,21].

Les différences de rigidité entre les structures musculaires et tendineuses expliquent la fréquence des atteintes observées à ces niveaux [25].

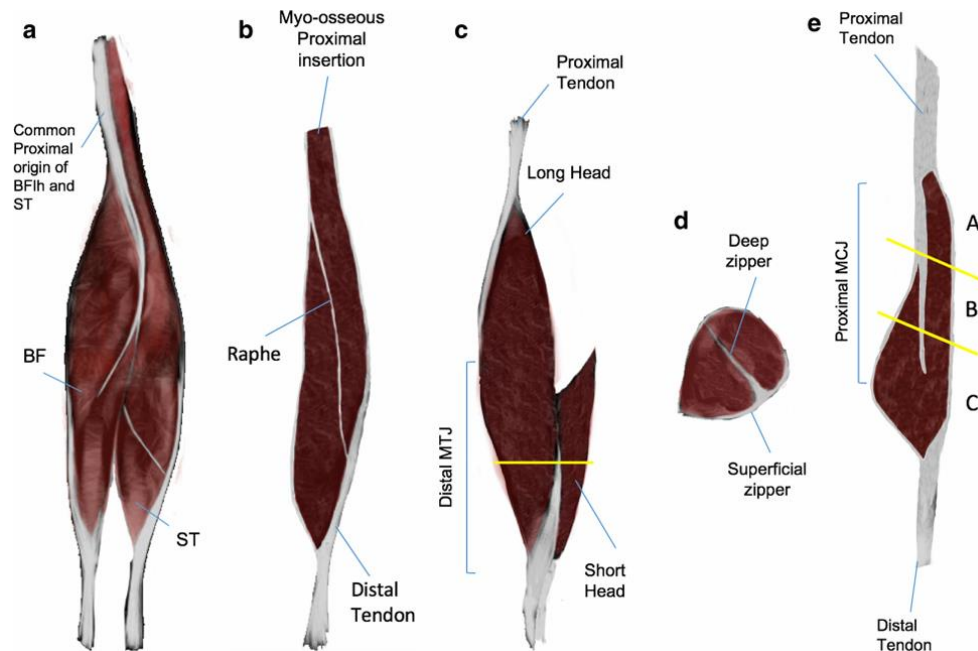


Figure 58 : Muscles du complexe ischio-jambier montrant la distribution des tissus conjonctifs dans chaque corps musculaire.[26]

a : vue frontale des ischio-jambiers (BFLh : chef long du biceps fémoral ; ST : semi-tendineux ; BF : biceps fémoral).

b : coupe coronale du semi-tendineux.

c : vue latérale ouverte du biceps fémoral (MTJ : jonction myotendineuse).

d : coupe axiale de la partie distale du biceps fémoral.

e : coupe coronale du semi-membraneux (MCJ : jonction myo-conjonctive).

1.6 Architecture intramusculaire (synthèse)

- Biceps fémoral : tendon intramusculaire proximal, organisation distale en fermeture éclair et fusion des deux chefs [21].
- Semi-tendineux : septum intramusculaire longitudinal et longue portion tendineuse distale [3].
- Semi-membraneux : architecture bipennée associée à une aponévrose proximale étendue [19,24].

1.7 Rapports anatomiques

Les ischio-jambiers présentent des rapports étroits avec le nerf sciatique, situé immédiatement au contact :

- Du tendon proximal conjoint du biceps fémoral et du semi-tendineux,

- Du tendon proximal du semi-membraneux [5].

Le ligament sacro-tubéral est adjacent à la tubérosité ischiatique et peut être visible sur les coupes proximales [21].

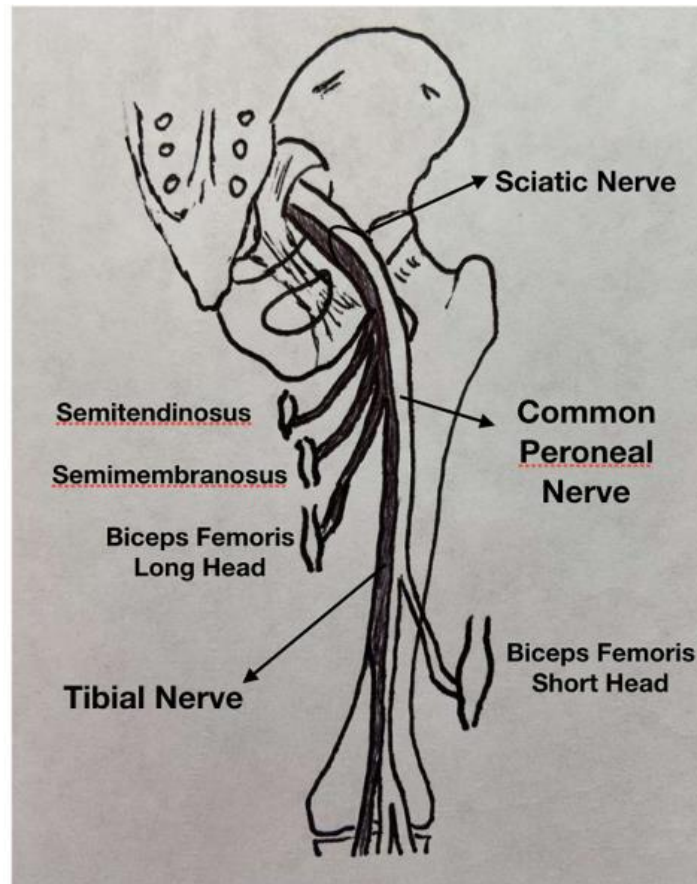


Figure 59 : Schéma du nerf ischiatique à la face postérieure de la cuisse. [27]

La portion tibiale du nerf ischiatique innerve tous les muscles bi-articulaires du groupe des ischio-jambiers, tandis que la portion fibulaire commune (péronière commune) du nerf ischiatique innerve la courte portion du biceps fémoral.

2. Quadriceps

Le quadriceps fémoral constitue le principal groupe musculaire de la loge antérieure de la cuisse. Il est formé du droit fémoral, du vaste médial, du vaste latéral et du vaste intermédiaire. Ensemble, ces muscles assurent l'extension du genou et participent à la stabilisation de la patella lors des activités dynamiques.

Le droit fémoral, muscle bi-articulaire, contribue également à la flexion de la hanche. Sa complexité conjonctive particulière explique la fréquence plus élevée de ses lésions chez les sportifs, notamment les footballeurs [26,28].

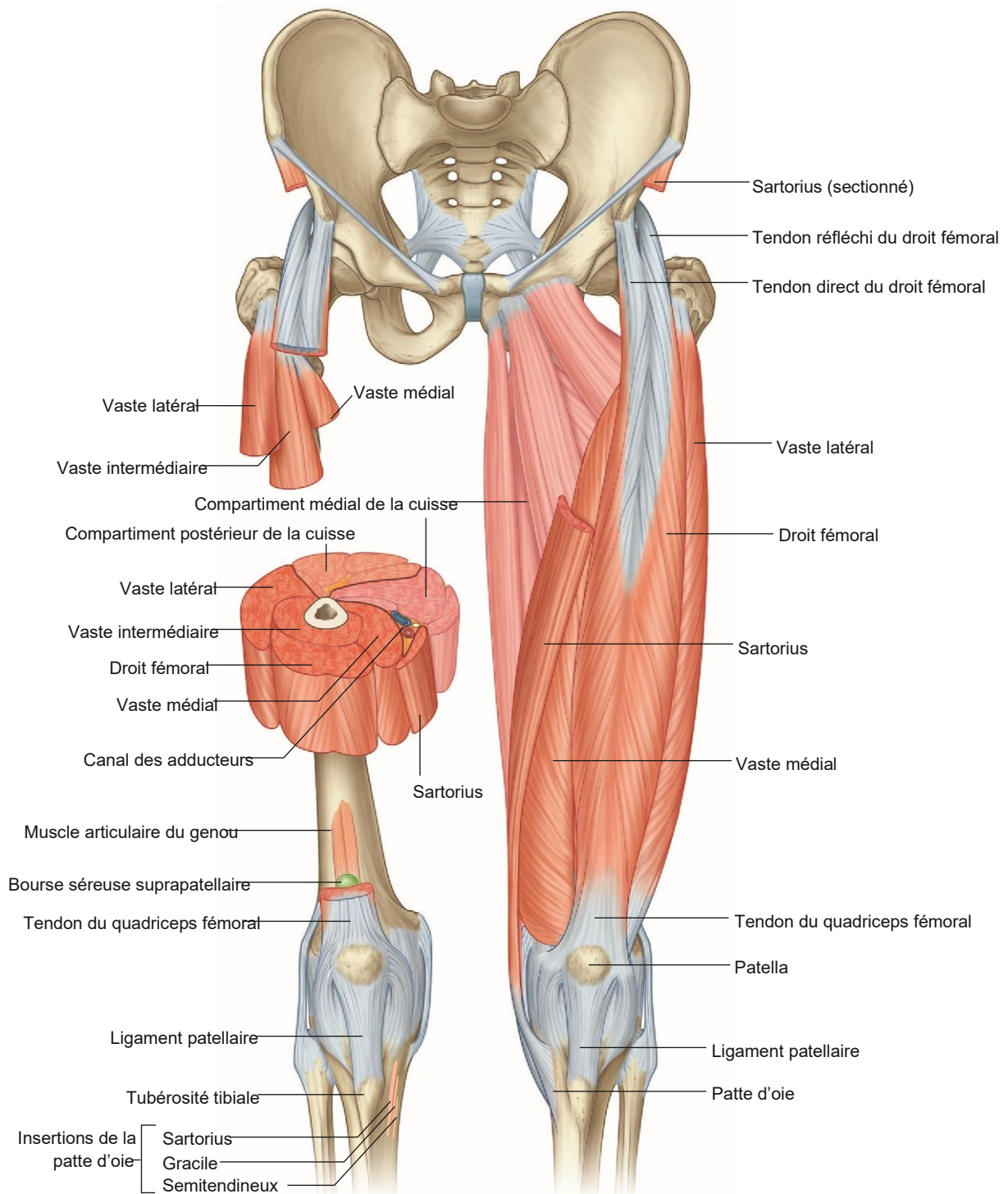


Figure 60 : Anatomie du muscle quadriceps fémoral. [16]

Vue antérieure de la cuisse montrant les quatre chefs du quadriceps (droit fémoral, vaste médial, vaste latéral et vaste intermédiaire), leurs rapports anatomiques, ainsi que leur convergence vers le tendon quadricipital, la patella et le ligament patellaire.

2.1 Droit fémoral

2.1-1 Origines

Le droit fémoral présente deux tendons proximaux distincts :

- Un tendon direct, issu de l'épine iliaque antéro-inférieure ;
- Un tendon indirect, provenant du rebord acétabulaire supérieur [28].

Ces deux structures convergent pour former un tendon commun proximal court.

Des données anatomiques et d'imagerie récentes suggèrent l'existence d'une troisième composante tendineuse proximale, dite tête capsulaire [29].

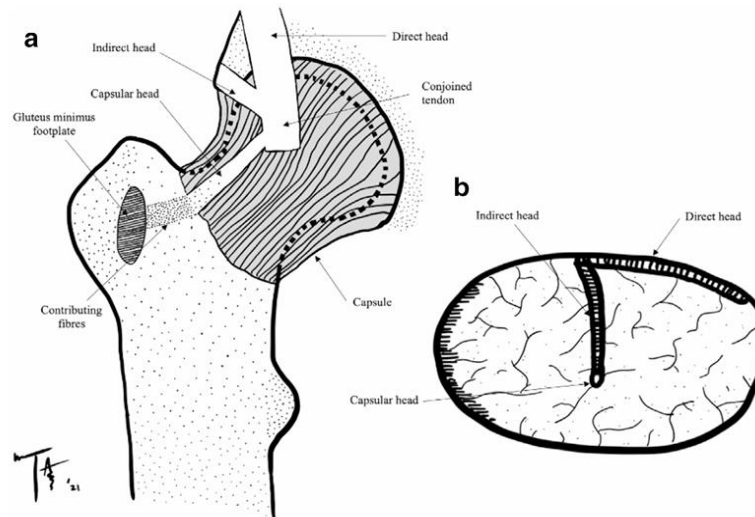


Figure 61 : Représentation anatomique artistique de l'orientation approximative des structures tendineuses proximales du droit fémoral, incluant la tête capsulaire [29].

(A) Schéma de l'anatomie proximale du droit fémoral montrant les tendons direct et indirect, ainsi que la contribution capsulaire antérieure de la hanche (ligament ilio-fémoral) à l'origine de la tête capsulaire, en continuité avec la facette antérieure du grand trochanter.

(B) Schéma de l'anatomie proximale proposée de la jonction myotendineuse (plan axial), illustrant la disposition des fibres de la tête capsulaire au sein des fibres les plus postérieures du septum central du droit fémoral.

2.1-2 Architecture conjonctive

L'organisation conjonctive du droit fémoral est particulièrement développée et constitue un élément anatomique majeur expliquant la fréquence de ses lésions. Elle comprend plusieurs structures complémentaires :

a) Aponévrose antérieure

Prolongement du tendon direct, elle forme une lame superficielle recouvrant la face antérieure du muscle et participe à la transmission des contraintes longitudinales ainsi qu'à la cohésion des fibres superficielles.

b) Fascia antérieur

Lame fibreuse située immédiatement au-dessus de l'aponévrose antérieure, elle renforce la stabilité superficielle du muscle et intervient dans les lésions myo-fasciales impliquant les fibres antérieures [26].

c) Septum central intramusculaire

Prolongement du tendon indirect, il traverse le muscle en profondeur. Il constitue la principale jonction myotendineuse proximale du droit fémoral, structure clé dans les lésions proximales observées chez l'athlète [26].

d) Aponévrose postérieure

Issue de la portion distale du tendon commun, elle s'étend entre le muscle et la face antérieure du fémur, contribuant à la stabilité profonde et à la transmission des forces.

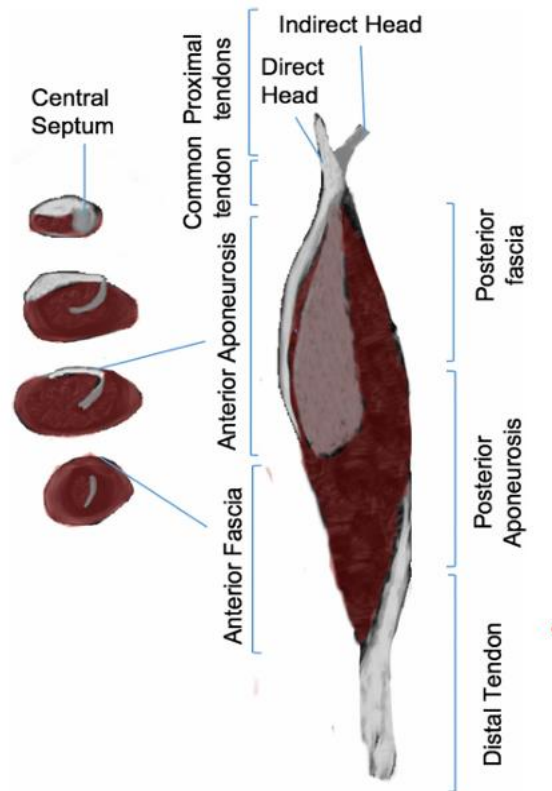


Figure 62 : Schéma de la distribution des tissus conjonctifs dans le muscle droit fémoral.

Les structures conjonctives proximales comprennent le septum central, l'aponévrose antérieure et le fascia antérieur. L'aponévrose postérieure correspond au prolongement du tendon distal.

Coupe axiale (à gauche) et coupe sagittale (à droite) [26].

2.1-3 Trajet et insertion

Le droit fémoral chemine à la face antérieure de la cuisse, en superficie du vaste intermédiaire, avant de s'unir aux trois vastes pour former le tendon quadricipital, qui s'insère sur la base de la patella.

2.1-4 Rapports anatomiques, innervation et vascularisation

Le droit fémoral est séparé de la diaphyse fémorale par une cloison conjonctive profonde en continuité avec l'aponévrose postérieure.

Il est innervé par des branches du nerf fémoral.

Sa vascularisation est assurée par les artères perforantes de la fémorale profonde et par l'artère circonflexe latérale.

2.2 Vastes médial, latéral et intermédiaire

Les trois vastes sont des muscles mono-articulaires assurant l'essentiel de la force d'extension du genou.

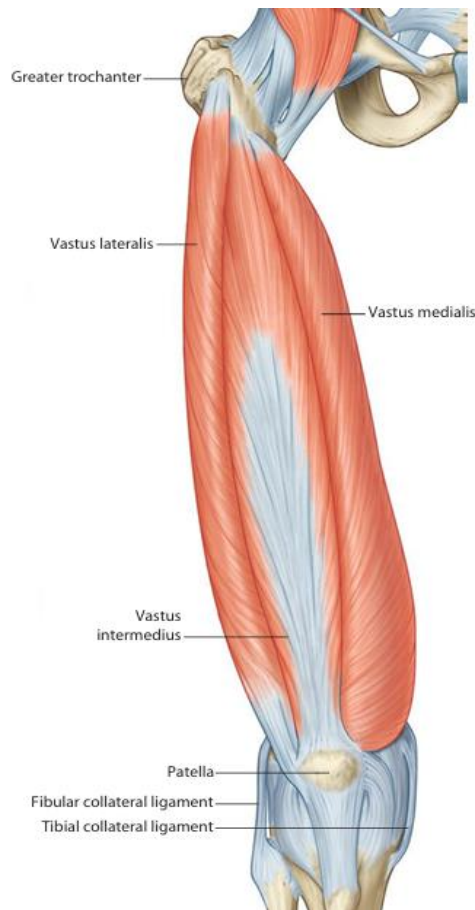


Figure 63: Anatomie des muscles vastes de la cuisse.

Vue antérieure de la cuisse montrant les trois muscles vastes du quadriceps fémoral : le vaste latéral, le vaste médial et le vaste intermédiaire.[16]

2.2-1 Origines

- Vaste médial : face antéro-médiale du fémur.
- Vaste latéral : face antéro-latérale du fémur.
- Vaste intermédiaire : face antérieure du fémur, directement appliqué contre la diaphyse.

2.2-2 Architecture conjonctive

Les vastes présentent une organisation essentiellement myo-aponévrotique, caractérisée par :

- Grandes expansions fasciales antérieures,
- Insertions aponévrotiques convergeant vers le tendon quadricipital,
- Cloisonnements intramusculaires fins.

Le vaste intermédiaire est en contact direct avec la face antérieure du fémur, disposition anatomique impliquée dans certains traumatismes directs responsables de lésions myo-fasciales [10].

2.2-3 Innervation et vascularisation

Les trois vastes sont innervés par des branches spécifiques du nerf fémoral, respectant une topographie médiale, latérale ou profonde.

Ils sont vascularisés par les artères perforantes de la fémorale profonde, complétées par le réseau circonflexe.

2.3 Organisation des tissus conjonctifs du quadriceps

2.3-1 Portion proximale

La portion proximale du quadriceps correspond à une zone de convergence des principales structures conjonctives du droit fémoral, incluant le tendon commun, les aponévroses antérieure et postérieure ainsi que le septum central intramusculaire [26].

Cet ensemble constitue la jonction myotendineuse proximale, siège fréquent d'atteintes dans les lésions du droit fémoral.

2.3-2 Portion distale

La portion distale du quadriceps associe :

- Un tendon quadricipital unique,
- Des expansions aponévrotiques contribuant à la stabilisation patellaire,
- Une aponévrose postérieure assurant la continuité avec la face antérieure du fémur [26].

2.4 Jonctions myotendineuses

La jonction myotendineuse proximale du droit fémoral constitue la zone la plus exposée aux lésions, notamment au niveau du septum central intramusculaire et des expansions aponévrotiques antérieures.

La jonction distale est plus homogène et moins sujette aux ruptures chez l'adulte jeune [28].

Les vastes présentent quant à eux une jonction myo-fasciale étendue, à l'origine de lésions superficielles observées lors de traumatismes directs ou à haute énergie [26].

2.5 Rapports anatomiques

Le quadriceps est en rapport immédiat :

- En profondeur, avec la face antérieure du fémur ;
- En avant, avec la bourse pré-patellaire et la bourse sous-quadricipitale ;
- Latéralement, avec les rétinacula patellaires.

Ces rapports anatomiques influencent la diffusion des hématomes et la configuration des lésions musculaires.

3. Adducteurs

Le groupe des adducteurs appartient au compartiment médial de la cuisse. Il comprend le long adducteur, le court adducteur, le grand adducteur, le gracile et l'obturateur externe. Ces muscles participent à l'adduction de la cuisse, à la stabilisation du bassin et au contrôle dynamique des mouvements latéraux, fonctions essentielles chez les footballeurs lors des changements rapides d'appui, des tirs et des accélérations [30,31].

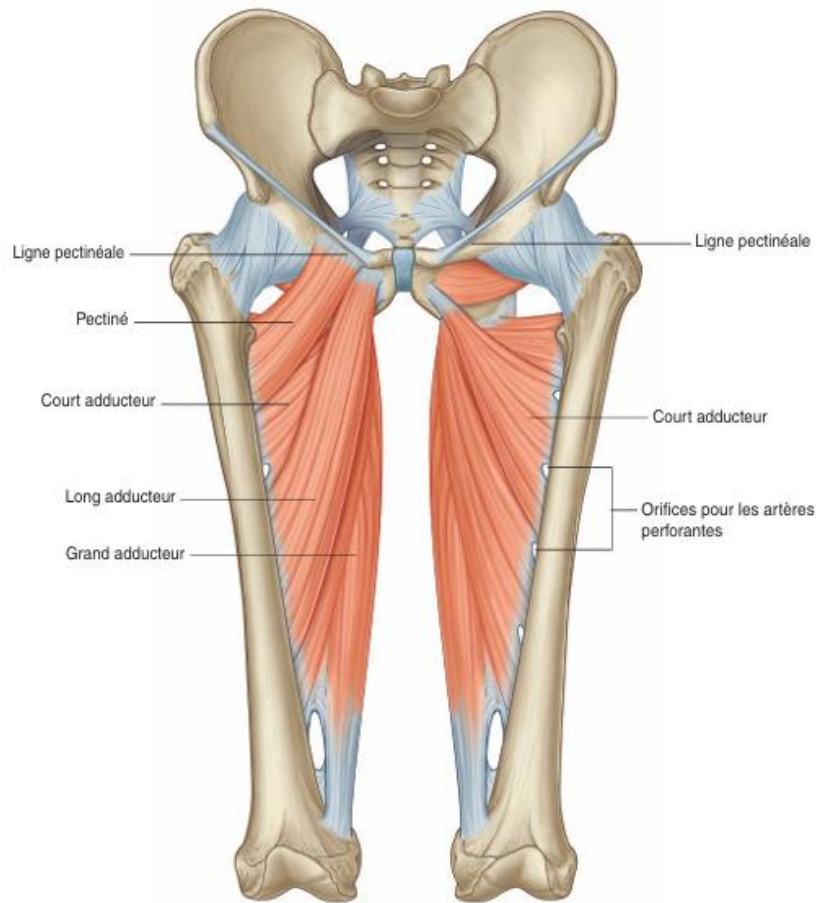


FIGURE 64 : muscles adducteurs de la cuisse.

Vue des muscles adducteurs du compartiment médial de la cuisse, impliqués dans l'adduction, la stabilisation du bassin et le contrôle des mouvements latéraux. [16]

3.1 Long adducteur

3.1-1 Origine et insertion

- Origine : corps du pubis, versant antéro-inférieur.
- Insertion : tiers moyen de la ligne âpre du fémur.

3.1-2 Architecture conjonctive

Le long adducteur est un muscle fusiforme, superficiel, facilement identifiable en imagerie.

Il présente :

- Une aponévrose proximale fine constituant la jonction myotendineuse proximale.
- Un tendon intramusculaire longitudinal se prolongeant sur la majeure partie du muscle.
- Une aponévrose distale large rejoignant la ligne âpre.

Cette organisation favorise les lésions myo-aponévrotiques proximales, fréquemment observées chez les footballeurs lors des mouvements explosifs en abduction ou des tirs puissants [30].

3.1-3 Innervation

- Innervation : nerf obturateur.

3.2 Court adducteur

3.2-1 Origine et insertion

- Origine : branche inférieure du pubis.
- Insertion : tiers proximal de la ligne âpre du fémur.

3.2-2 Architecture conjonctive

Le court adducteur présente :

- une aponévrose proximale épaisse ;
- une jonction myotendineuse proximale courte ;
- un tendon distal discret.

Son architecture compacte explique une fréquence lésionnelle inférieure à celle du long adducteur. Néanmoins, les lésions proximales peuvent être particulièrement douloureuses en raison de la proximité du nerf obturateur [32].

3.2-3 Innervation

- Innervation : nerf obturateur.

3.3 Grand adducteur

Le grand adducteur est le muscle le plus volumineux du groupe. Il comprend deux portions anatomiques distinctes :

- une portion supérieure (adducteur minimus),
- une portion inférieure (adducteur magnus).

3.3-1 Origines et insertions

- Origine : branche ischio-pubienne et face latérale de l'ischion.
- Insertions :
 - ligne âpre du fémur pour la portion adductrice,
 - tubercule de l'adducteur pour la portion ischio-condylienne.

3.3-2 Architecture conjonctive

Le grand adducteur présente une structure conjonctive particulièrement développée, comprenant :

- Une aponévrose proximale épaisse ;
- Plusieurs tendons intramusculaires longitudinaux ;
- Une aponévrose distale complexe se divisant entre la ligne âpre et le tubercule de l'adducteur ;
- Des cônes d'insertion multiples, visibles en imagerie [31].

Cette richesse conjonctive explique la survenue possible de lésions intramusculaires profondes ainsi que des extensions lésionnelles le long des lames conjonctives.

3.3-3 Innervation

- Innervation :
 - Nerf obturateur pour la portion supérieure,
 - Nerf sciatique pour la portion ischio-condylienne.

3.4 Gracile

Le gracile est un muscle long et mince, bi-articulaire, participant à l'adduction de la cuisse et à la flexion du genou.

3.4-1 Origine et insertion

- Origine : Branche inférieure du pubis.
- Insertion : Patte d'oie, aux côtés du semi-tendineux et du Sartorius.

3.4-2 Architecture conjonctive

Le gracile présente :

- Un tendon proximal fin ;
- Un corps musculaire grêle entouré d'un fascia superficiel étendu ;
- Un long tendon distal caractéristique.

Les lésions du gracile sont rares et surviennent principalement lors de tractions violentes.

3.4-3 Innervation

- Innervation : nerf obturateur.

3.5 Obturateur externe

L'obturateur externe est un muscle profond participant à l'adduction et à la rotation latérale de la cuisse.

3.5-1 Origine et insertion

- Origine : membrane obturatrice et pourtour du foramen obturé.
- Insertion : fosse trochantérienne.

3.5-2 Architecture conjonctive

Il présente :

- Une structure pennée ;
- Un fascia profond bien individualisé ;
- Une jonction myotendineuse proximale courte.

3.5-3 Innervation

- Innervation : branche postérieure du nerf obturateur.

3.6 Jonctions myotendineuses des adducteurs

Les jonctions myotendineuses proximales constituent les zones les plus fréquemment atteintes :

- La jonction proximale du long adducteur, la plus souvent concernée ;
- La jonction proximale du court adducteur ;
- La jonction complexe du grand adducteur, riche en expansions conjonctives.

Les lésions distales sont beaucoup plus rares.

3.7 Rapports anatomiques

Les adducteurs sont en rapport étroit :

- En avant, avec le muscle pectiné ;
- En arrière, avec les muscles ischio-jambiers proximaux ;
- Médialement, avec les veines et l'artère fémorales profondes ;
- Avec le nerf obturateur, dont les branches antérieure et postérieure traversent le groupe musculaire.

Ces rapports anatomiques expliquent les irradiations douloureuses internes de la cuisse et la difficulté clinique à distinguer certaines lésions.

4. Groupe musculaire du mollet (Triceps sural)

Le groupe musculaire du mollet, ou triceps sural, constitue la majeure partie de la loge postérieure superficielle de la jambe. Il comprend les deux chefs du gastrocnémien (médial et latéral) et le soléaire.

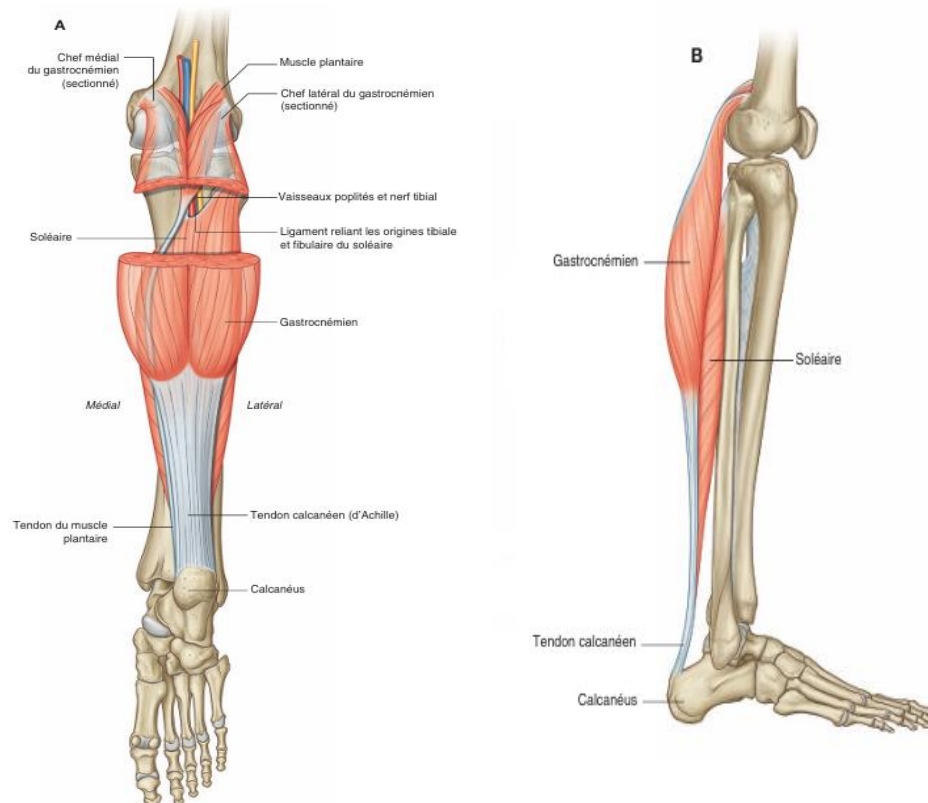


Figure 65 : Anatomie du triceps sural.

- A. Vue postérieure montrant les deux chefs du gastrocnémien (médial et latéral), le soléaire et leur convergence vers le tendon calcanéen.
- B. Vue latérale illustrant les gastrocnémien et le soléaire ainsi que la continuité avec le tendon d'Achille.[16]

Ensemble, ces muscles assurent la flexion plantaire de la cheville, essentielle lors de la propulsion, du saut et du sprint, mouvements omniprésents dans la pratique du football [33].

4.1 Gastrocnémien

Le gastrocnémien est un muscle bi-articulaire, intervenant à la fois sur le genou et la cheville. Il comprend deux chefs : un chef médial et un chef latéral.

4.1-1 Origines et insertions

- Chef médial : origine sur la surface postéro-supérieure du condyle fémoral médial.

- Chef latéral : origine sur le condyle fémoral latéral.
- Les deux chefs convergent dans le tiers moyen de la jambe pour former l'aponévrose du triceps sural, qui se prolonge distalement par le tendon calcanéen (tendon d'Achille).

4.1-2 Architecture conjonctive

Le gastrocnémien présente une organisation conjonctive caractérisée par :

a) Aponévrose proximale

Fine mais étendue, elle constitue la zone de jonction myotendineuse proximale.

b) Lames conjonctives intramusculaires

Elles séparent les faisceaux médial et latéral et guident la propagation des lésions intramusculaires.

c) Jonction myotendineuse distale commune

Les aponévroses médiale et latérale convergent vers une aponévrose centrale, se prolongeant par le tendon calcanéen.

e) Importance clinique

Cette architecture explique :

- La fréquence des lésions proximales touchant les chefs du gastrocnémien, en particulier le chef médial ;
- Les lésions distales pouvant s'étendre vers le tendon d'Achille.

Les ruptures du gastrocnémien médial sont favorisées par la bi-articularité du muscle et par l'allongement excessif lors de l'extension du genou associée à une dorsiflexion forcée de la cheville [33].

4.1-3 Innervation et vascularisation

- Innervation : nerf tibial.
- Vascularisation : artère poplitée et artères surales.

4.2 Soléaire

Le soléaire est un muscle mono-articulaire profond, jouant un rôle majeur dans la flexion plantaire en charge prolongée, notamment lors de la course et des efforts d'endurance.

4.2-1 Origines et insertions

- Origines :
 - Ligne soléaire du tibia,
 - Arcade du soléaire,
 - Bord postérieur du péroné.
- Insertion : tendon calcanéen, en profondeur.

4.2-2 Architecture conjonctive

Le soléaire présente une organisation conjonctive profonde et segmentée, dont les variations anatomiques expliquent la diversité des lésions observées.

a) Aponévrose antérieure (fascia profond)

Épaisse et bien individualisée, elle sépare le soléaire des muscles fléchisseurs profonds. Elle constitue un repère important en imagerie et guide la propagation des lésions myo-aponévrotiques.

b) Tendons intramusculaires multiples

Plusieurs tendons internes traversent le muscle, le divisant en compartiments. Cette segmentation favorise des lésions profondes et localisées, parfois peu symptomatiques cliniquement.

c) Faisceaux médial et latéral et septum central

Le soléaire comprend deux faisceaux principaux, médial et latéral, séparés par un septum central robuste. Ces structures présentent une variabilité morphologique notable d'un individu à l'autre, susceptible d'influencer la localisation des zones de fragilité.

d) Aponévrose postérieure et formation du tendon calcanéen

L'aponévrose postérieure du soléaire fusionne distalement avec celles des chefs du gastrocnémien pour former le tendon calcanéen.

La zone de jonction avec les fibres conjonctives du gastrocnémien médial entraîne un changement brusque de calibre, considéré comme une zone de fragilité prédisposant aux lésions distales [26].

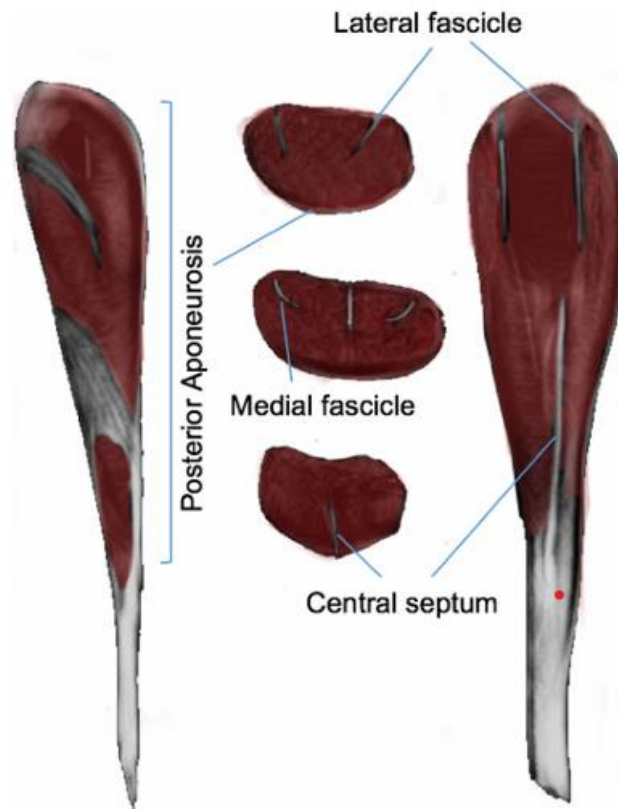


Figure 66 : Schéma de la distribution des tissus conjonctifs dans le soléaire

montrant les faisceaux médial et latéral, le septum central et les aponévroses (coupes coronale et axiale). Seul le septum central rejoint l'aponévrose postérieure (coupe sagittale) [26] .

4.2-3 Innervation et vascularisation

- Innervation : nerf tibial.
- Vascularisation : artère tibiale postérieure et artère fibulaire.

4.3 Tendon calcanéen (tendon d'Achille)

Le tendon calcanéen résulte de la convergence des aponévroses du gastrocnémien et du soléaire.

Dispositions anatomiques importantes :

- Rotation des fibres : les fibres issues du soléaire se situent en profondeur, tandis que celles du gastrocnémien deviennent superficielles dans la portion distale.
- Zone hypovasculaire : une zone de vascularisation réduite est décrite entre 2 et 6 cm de l'insertion calcanéenne, prédisposant aux tendinopathies.

- Insertion en éventail : large attache sur le calcanéum, parfois associée à des expansions tendineuses accessoires.

4.4 Jonctions myotendineuses du triceps sural

Les jonctions myotendineuses du triceps sural comptent parmi les plus complexes de la jambe.

a) Proximales

- Gastrocnémien : jonctions distinctes pour chaque chef, particulièrement vulnérables lors des changements de rythme.
- Soléaire : jonction myo-aponévrotique étendue, responsable de lésions souvent profondes et parfois peu visibles cliniquement.

b) Distales

- Convergence progressive vers le tendon calcanéen.
- Les lésions distales peuvent s'étendre le long des couches conjonctives profondes, notamment entre les fibres soléaires.

4.5 Rapports anatomiques

Les principaux rapports anatomiques du triceps sural comprennent :

- Le nerf tibial, cheminant en profondeur du soléaire, au contact de l'artère tibiale postérieure
- L'artère poplitée, participant à la vascularisation de la jonction proximale du gastrocnémien ;
- Les veines surales, proches des chefs du gastrocnémien et susceptibles de thrombose après déchirures musculaires ;
- Les bourses rétro-calcanéennes, parfois visibles en imagerie et susceptibles de s'enflammer après surcharge.

Ces rapports anatomiques constituent des éléments essentiels guidant l'interprétation IRM des lésions musculaires du mollet.

5. Vascularisation du Membre Inférieur

5.1 Artères principales

- Artère fémorale : Poursuite de l'artère iliaque externe. Donne naissance à :
 - Artère fémorale profonde : Vascularise les muscles de la cuisse (quadriceps, adducteurs).
 - Artère poplitée : Se divise en artères tibiales antérieure et postérieure, vascularisant la jambe et le pied [18].
- Réseaux anastomotiques :
 - Artères circonflexes (médiale et latérale) et perforantes : Assurent une vascularisation redondante, cruciale pour la récupération après une lésion . [34]

5.2 Veines

- Veine fémorale : Draine le sang des membres inférieurs vers la veine cave inférieure.
- Veines profondes et superficielles : Réseau anastomotique permettant un retour veineux efficace [35] .

6. Innervation du Membre Inférieur

6.1 Plexus lombosacré

- Nerf fémoral (L2–L4) : Inneve le quadriceps, le psoas–iliaque et la peau de la face antérieure de la cuisse.
- Nerf sciatique (L4–S3) : Se divise en :
 - Nerf tibial : Inneve les ischio–jambiers (sauf chef court du biceps), les mollets et la plante du pied.
 - Nerf fibulaire commun : Inneve les fibulaires, les muscles antérieurs de la jambe et le dos du pied [36].
- Nerf obturateur (L2–L4) : Inneve les adducteurs.

II. Structure et fonction du muscle

La compréhension de la structure et de la fonction du muscle strié squelettique est fondamentale pour appréhender la physiopathologie des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau. En effet, les caractéristiques histologiques, les propriétés mécaniques et la spécialisation fonctionnelle du tissu musculaire conditionnent à la fois la performance athlétique et la susceptibilité aux blessures [1,26].

1. Organisation structurale du muscle

Le muscle strié squelettique est organisé selon une architecture hiérarchique, allant du niveau cellulaire à l'échelle macroscopique. Chaque compartiment joue un rôle précis dans la transmission de la force et la résistance aux contraintes mécaniques [3,26].

1.1 Niveau cellulaire

Les fibres musculaires, ou myocytes, sont des cellules allongées multinucléées contenant des myofibrilles formées de sarcomères, unités contractiles délimitées par les lignes Z. La contraction musculaire résulte du glissement des filaments d'actine entre ceux de myosine, permettant la conversion de l'énergie chimique en force mécanique [37].

Chaque fibre est entourée d'un endomysium, matrice conjonctive jouant un rôle essentiel dans la transmission latérale des forces et la protection contre les microtraumatismes répétés [38].

1.2 Niveau fasciculaire

Les fibres sont regroupées en faisceaux entourés par le périmysium, tissu conjonctif plus épais et richement vascularisé. Ce réseau assure la cohésion interfibrillaire et permet une diffusion harmonieuse des contraintes mécaniques, notamment lors des contractions excentriques répétées [38].

Le périmysium joue ainsi un rôle majeur dans la résistance globale du muscle face aux tractions mécaniques de haute intensité [39].

1.3 Niveau musculaire

L'ensemble des faisceaux est recouvert par l'épimysium, membrane fibreuse dense se prolongeant en aponévroses et tendons. Cette continuité histologique, formant un continuum myotendineux, garantit la transmission efficace de la force contractile vers le squelette [40]. Chez le footballeur de haut niveau, cette architecture est soumise à des contraintes extrêmes lors des phases d'accélération, de frappe et de changement de direction, mettant particulièrement à l'épreuve les zones de transition myotendineuses [1,26].

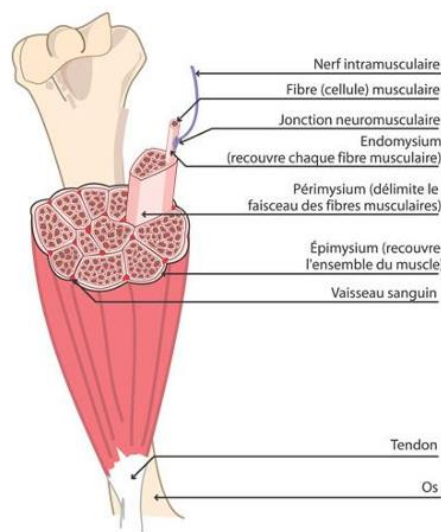


Figure 67 : Schéma représentant l'organisation hiérarchique du muscle strié squelettique. Montrant les fibres musculaires, les faisceaux, les enveloppes conjonctives (endomysium, périmysium, épimysium), ainsi que leur continuité avec le tendon et l'os. [20]

2. Rôle du tendon, de l'aponévrose et de la jonction myotendineuse

2.1 Tendon et aponévrose

Les tendons sont constitués principalement de collagène de type I, organisé en faisceaux parallèles assurant une grande résistance mécanique mais une faible extensibilité. L'aponévrose, quant à elle, est une lame fibreuse participant à la transmission et à la répartition des forces sur de larges zones d'insertion musculaire [40].

Chez le footballeur, les tendons des ischio-jambiers et du quadriceps sont particulièrement sollicités lors des efforts explosifs. Les études biomécaniques ont montré

que les forces de traction peuvent atteindre plusieurs fois le poids corporel lors des phases de sprint et de décélération [41].

Ces contraintes répétées peuvent induire des microfissures et des remaniements structuraux, notamment au niveau des zones de transition musculo-tendineuses [42].

2.2 Jonction myotendineuse (JMT)

La jonction myotendineuse représente la zone de transition morphologique et fonctionnelle entre les fibres musculaires et le tendon. Elle se caractérise par une interface plissée augmentant la surface de contact et permettant un ancrage efficace des fibres musculaires dans la matrice extracellulaire [37].

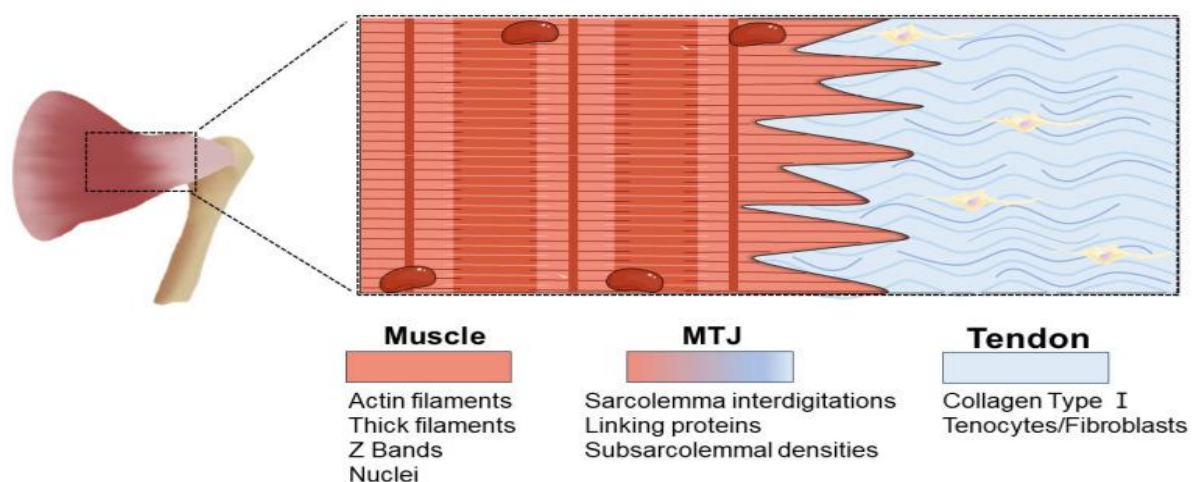


Figure 68 : Schéma de la jonction myotendineuse (JMT).

Montrant la continuité structurale entre le muscle strié squelettique et le tendon. La zone de transition est caractérisée par des interdigitations du sarcolemme avec la matrice extracellulaire, permettant une transmission efficace des forces mais constituant également un site de fragilité biomécanique lors des contractions excentriques.[43]

Toutefois, le contraste de rigidité entre le muscle, structure relativement souple, et le tendon, plus rigide, rend cette interface particulièrement vulnérable aux contraintes mécaniques, en particulier lors des contractions excentriques rapides [3,26].

Les études en IRM ont confirmé que la JMT constitue le principal siège des lésions musculaires traumatiques, notamment dans les muscles bi-articulaires tels que les ischio-jambiers, le droit fémoral et le gastrocnémien [5,26]. Ces lésions apparaissent classiquement

sous la forme d'un hypersignal T2/STIR centré sur la zone de jonction, traduisant un œdème ou une désorganisation fibrillaire [1,6].

3. Types de fibres musculaires et rôle dans l'effort explosif

Le muscle strié squelettique est composé de plusieurs types de fibres musculaires différant par leurs propriétés contractiles et métaboliques. Cette hétérogénéité permet une adaptation fonctionnelle aux exigences spécifiques du football moderne [37].

Tableau 41 : Caractéristiques des principaux types de fibres musculaires et leur rôle fonctionnel dans l'effort explosif chez le footballeur.

Type de fibre	Métabolisme	Vitesse de contraction	Fonction principale	Localisation dominante
Type I	Oxydatif	Lente	Endurance, maintien postural	Mollets, muscles posturaux
Type IIa	Mixte	Rapide	Efforts intenses prolongés	Quadriceps, ischio-jambiers
Type IIb	Glycolytique	Très rapide	Explosivité, sprint, frappe	Droit fémoral, gastrocnémien

Les footballeurs de haut niveau présentent une hypertrophie sélective des fibres de type II, optimisée pour la production de puissance instantanée. Toutefois, cette spécialisation fonctionnelle accroît la vulnérabilité aux déchirures musculaires lors des contractions excentriques ou en situation de fatigue neuromusculaire [44,45].

4. Fonction dynamique du muscle lors des gestes sportifs

4.1 Sprint

Lors du sprint, les ischio-jambiers développent une contraction excentrique intense afin de contrôler l'extension de la hanche et la flexion du genou en phase terminale du balancement, tandis que les quadriceps assurent une contraction concentrique propulsive. Ce cycle étirement-raccourcissement concentre les contraintes mécaniques au niveau de la JMT, expliquant la fréquence élevée des lésions dans cette zone [26,41].

4.2 Frappe de balle

La frappe de balle mobilise une co-contraction synergique des quadriceps, adducteurs et ischio-jambiers. La transmission des forces s'effectue principalement par les tendons et les

aponévroses. Un déséquilibre musculaire ou une asymétrie de force peut entraîner des microtraumatismes répétés, à l'origine de lésions musculaires ou tendineuses [5,44].

4.3 Changement de direction

Les changements de direction et les phases de freinage imposent des forces de cisaillement et de torsion importantes sur les muscles et leurs enveloppes conjonctives. Une altération de la compliance musculaire, notamment en présence de cicatrices post-lésionnelles, augmente le risque de rupture lors de contraintes brutales [42,45].



Figure 69 : Principaux gestes sportifs du football exposant le muscle à des contraintes élevées.

(A) frappe de balle, (B) sprint, (C) changement de direction. [46]

5. Synthèse

En somme, la structure hiérarchique du muscle squelettique, son hétérogénéité fonctionnelle et les exigences biomécaniques spécifiques du football expliquent la fréquence élevée des lésions musculaires dans cette discipline. Les zones de jonction myotendineuse, en particulier celles des muscles bi-articulaires, constituent des points de fragilité privilégiés, reflet d'un compromis entre puissance mécanique et vulnérabilité structurale. Ces éléments anatomiques et fonctionnels constituent la base de l'analyse biomécanique développée dans la section suivante.

III. Mécanismes et biomécanique des lésions musculaires chez les footballeurs de haut niveau

1. Mécanismes lésionnels

Les lésions musculaires chez les footballeurs professionnels surviennent principalement selon deux grands types de mécanismes : intrinsèques, liés aux contraintes internes exercées sur le muscle, et extrinsèques, liés à des facteurs externes. Ces mécanismes traduisent un déséquilibre entre la force appliquée au muscle et sa capacité de résistance mécanique, conduisant à une défaillance structurale du tissu musculaire [47,48].

1.1 Mécanismes intrinsèques

1.1-1 Étirement excentrique

Le mécanisme d'étirement excentrique constitue le mécanisme lésionnel le plus fréquemment observé chez le footballeur. Il survient lorsque le muscle, sous tension active, est brutalement allongé, notamment lors de la phase terminale du sprint. À ce moment, les ischio-jambiers freinent l'extension du genou tout en contrôlant la flexion de la hanche, soumettant la jonction myotendineuse à une contrainte mécanique maximale [44,49].

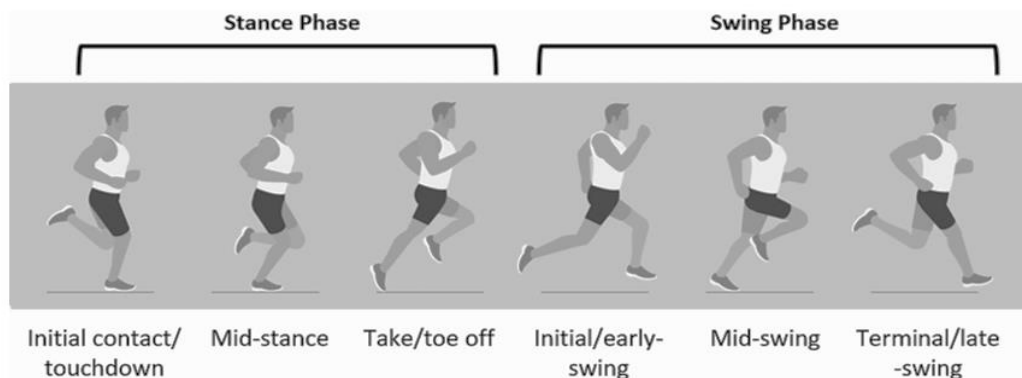


Figure 70 : Phases du cycle du sprint et sollicitation des ischio-jambiers.

Cette figure illustre les différentes phases du cycle du sprint. Lors des phases de mid-swing et de late-swing, le genou s'étend à une vitesse élevée avant d'être rapidement décéléré. À ce moment, les ischio-jambiers sont soumis à une contraction excentrique importante afin de freiner l'extension du genou tout en contrôlant la flexion de la hanche, ce

qui génère des contraintes mécaniques élevées et explique la fréquence accrue des lésions à ce stade du cycle [50].

Cette phase est associée à une élévation importante du couple de tension appliqué au muscle. Sur le plan clinique et épidémiologique, une majorité des lésions surviennent en fin de match, période durant laquelle la fatigue neuromusculaire altère le contrôle moteur et la capacité d'absorption d'énergie du système musculo-tendineux [1,51].

Sur le plan biomécanique, l'étirement excentrique sollicite préférentiellement les zones de transition entre tissu contractile et tissu conjonctif. La jonction myotendineuse et les structures conjonctives associées (tendons intramusculaires, aponévroses) constituent des régions de gradients de contrainte élevés, expliquant leur vulnérabilité lors de ces sollicitations intenses [52].

1.1-2 Contraction violente

Les contractions musculaires violentes correspondent à des activations musculaires explosives, observées lors de la frappe de balle, du tir ou de l'impulsion au saut. Dans ce contexte, la contrainte biomécanique est dominée par la force active produite par le muscle, parfois proche de ses capacités maximales, sur un temps très court.

Lorsque la force générée dépasse les capacités d'élasticité et de dissipation énergétique du tissu musculaire et de ses structures conjonctives, une défaillance structurale peut survenir. Ce mécanisme est particulièrement impliqué dans les lésions du droit fémoral et du gastrocnémien, deux muscles bi-articulaires jouant un rôle majeur dans les phases de propulsion et soumis à des charges mécaniques élevées lors des gestes explosifs [52,53].

Ce mécanisme est particulièrement illustré lors de la frappe du ballon en football, geste explosif au cours duquel la phase d'accélération est associée à une contraction musculaire intense du droit fémoral et des muscles du triceps sural.

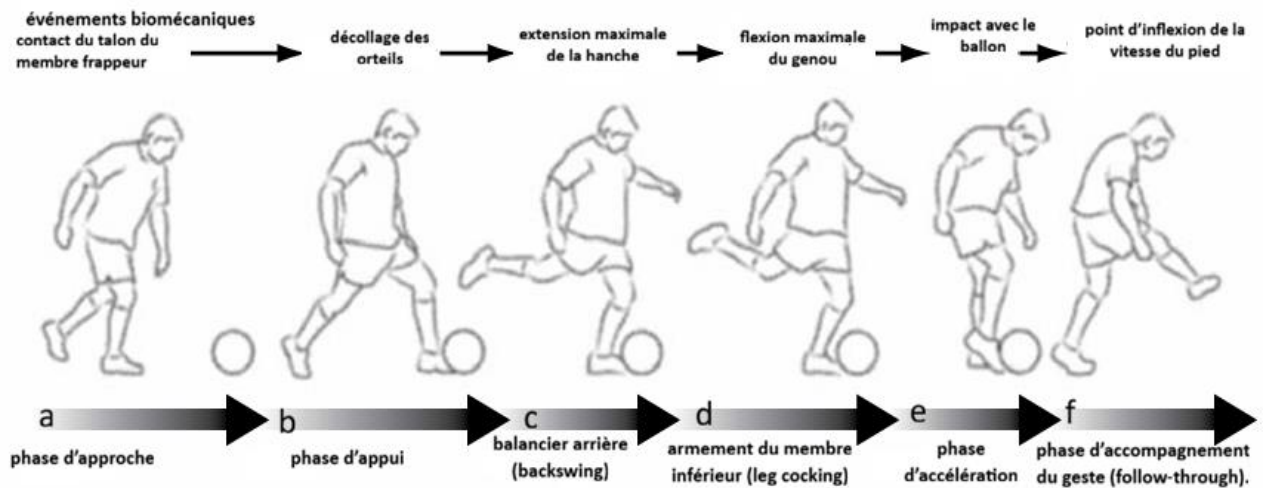


Figure 71 : Phases et événements biomécaniques de la frappe du cou-de-pied en football.

La frappe est divisée en cinq phases successives : (a) phase d'approche, (b) phase d'appui, (c) balancier arrière (backswing), (d) armement du membre inférieur (leg cocking), (e) phase d'accélération, et (f) phase d'accompagnement du geste (follow-through).

Ces phases sont délimitées par six événements biomécaniques majeurs : contact du talon du membre frappeur, décollage des orteils, extension maximale de la hanche, flexion maximale du genou, impact avec le ballon et point d'inflexion de la vitesse du pied.[54]

Cette séquence met en évidence la phase d'accélération, caractérisé par une contraction musculaire concentrique explosive des muscles bi-articulaires du membre inférieur, notamment le droit fémoral, mécanisme typique des lésions par contraction violente[54].

1.2 Mécanismes extrinsèques

1.1-2 Traumatisme direct

Les lésions musculaires par traumatisme direct résultent d'un choc externe, tel qu'un tackle ou un impact direct. Les muscles superficiels, notamment le vaste latéral et le gastrocnémien, sont les plus exposés, avec une formation fréquente d'un hématome intramusculaire. Bien que moins fréquentes que les lésions intrinsèques, ces atteintes peuvent évoluer vers une myosite ossifiante en cas de prise en charge inadaptée [19].

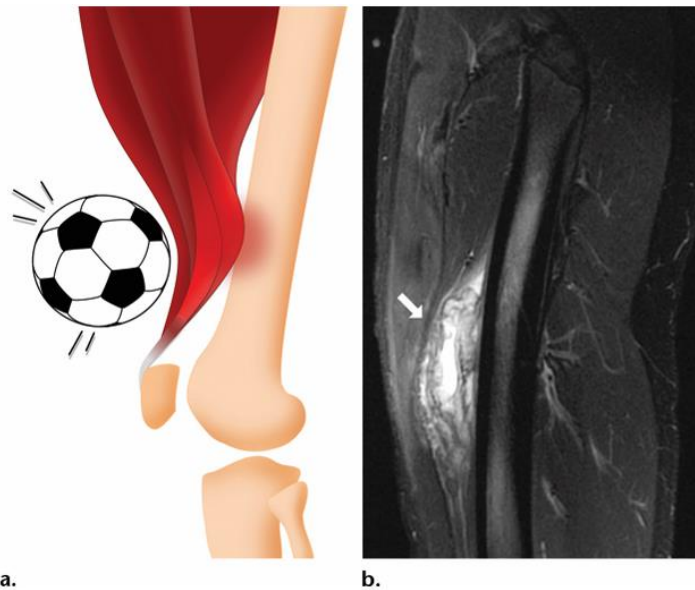


Figure 72 : Contusion musculaire par traumatisme direct.

(b) IRM sagittale pondérée T2 avec suppression de la graisse de la cuisse gauche montrant une lésion hétérogène mal limitée du muscle vaste intermédiaire (flèche), associée à un hématome et à un œdème péri-lésionnel, compatible avec une contusion musculaire. [55]

2. Analyse biomécanique des muscles à risque

2.1 Vulnérabilité des muscles bi articulaires

Les muscles bi-articulaires, incluant les ischio-jambiers, le droit fémoral et le gastrocnémien, traversent deux articulations et sont soumis à des contraintes mécaniques antagonistes simultanées au cours des gestes sportifs [56].

Lors du sprint, les ischio-jambiers s'allongent au niveau de la hanche tout en se contractant activement pour contrôler l'extension du genou entraînant une surcharge mécanique marquée du complexe myotendineux des ischio-jambiers, identifié comme un site préférentiel de survenue des lésions musculaires[5]. Les études en imagerie par résonance magnétique confirment cette localisation préférentielle [57,58].

Cette vulnérabilité biomécanique se traduit en imagerie par résonance magnétique par une atteinte préférentielle de la jonction myotendineuse, comme illustré en (Figure 73).

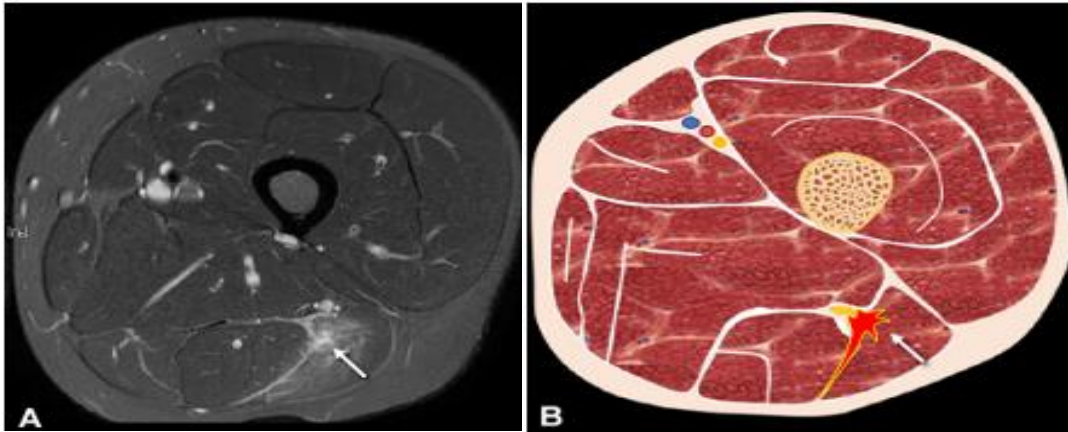


Figure 73 : Lésion de la jonction myotendineuse centrale du biceps fémoral chez un footballeur professionnel présentant une douleur postérieure de cuisse survenue après un effort de sprint.

(A) IRM axiale pondérée T2 avec suppression de la graisse montrant un hypersignal œdémateux centré sur la jonction myotendineuse centrale du biceps fémoral, associé à une discontinuité du tendon conjoint (flèche).

(B) Schéma anatomique illustrant la localisation centrale de la lésion et l'atteinte du tendon conjoint. [5]

2.2 Phase d'allongement excentrique

La transition excentrique-concentrique constitue une phase biomécanique critique. Lors du freinage ou de la réception d'un saut, les sarcomères doivent simultanément résister à une tension d'étirement élevée tout en initiant une contraction active, favorisant l'apparition de micro ruptures au niveau des fibres musculaires et de la jonction myotendineuse [47].

3. Biomécanique spécifique selon les groupes musculaires

Les groupes musculaires du membre inférieur présentent des localisations lésionnelles caractéristiques, en lien direct avec les contraintes biomécaniques spécifiques auxquelles ils sont soumis lors des gestes du football. Ces mécanismes lésionnels et leurs localisations anatomiques préférentielles sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 42 : Biomécanique spécifique des principaux groupes musculaires du membre inférieur chez le footballeur.

Groupe musculaire	Mécanisme lésionnel	Localisation typique
Ischio-jambiers	Étirement excentrique en fin de sprint	Jonction myotendineuse proximale [49,51]
Quadriceps	Contraction concentrique explosive	Tendon indirect du droit fémoral [44,53]
Adducteurs	Contraction excentrique	Insertion pubienne du long adducteur [51]
Triceps sural	Étirement brutal	Jonction myotendineuse du gastrocnémien [44,49]

4. Facteurs de risque biomécaniques et contextuels

Plusieurs facteurs biomécaniques et contextuels interviennent dans la survenue des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau, en modulant les contraintes mécaniques, la fatigue neuromusculaire et les capacités de récupération tissulaire, comme synthétisé dans le tableau ci-dessous.

Tableau 43 : Facteurs de risque biomécaniques et contextuels des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau.

Facteur de risque	Mécanisme sous-jacent	Évidence clinique	Exemples cliniques
Fatigue musculaire	Altération du contrôle neuromusculaire (diminution du recrutement des unités motrices) et réduction de la capacité d'absorption d'énergie (augmentation de la raideur musculaire)	60–70 % des lésions surviennent en seconde mi-temps, corrélée à une baisse de performance neuromusculaire [59]	Lésions des ischio-jambiers en fin de match
Déséquilibre musculaire	Surcharge excentrique liée à un ratio quadriceps/ischio-jambiers > 1.5:1, augmentant le stress sur les ischio-jambiers lors des phases de freinage	Risque accru de lésions des ischio-jambiers et des adducteurs [53,60]	Rupture du biceps fémoral chez un joueur avec déséquilibre musculaire documenté
Antécédent de lésion	Fibrose cicatricielle, cicatrisation incomplète (défaut d'alignement des fibres), et altération de l'élasticité musculaire	Risque de récurrence multiplié par 2 à 6 dans les 2 mois suivant le retour au jeu [61]	Récurrence de lésion des ischio-jambiers après un retour au jeu précoce
Manque d'échauffement	Augmentation de la rigidité musculaire et tendineuse (diminution de la température tissulaire, diminution de l'élasticité)	Lésions précoces (dans le premier quart d'heure de jeu) [53]	Déchirure du gastrocnémien en début de match sans échauffement adéquat
Surface de jeu / charge d'entraînement	Augmentation des contraintes mécaniques sur gazon synthétique (vs. Naturel) et lors de périodes de matches rapprochés (< 5 jours de récupération)	Incidence augmentée de 30 % des lésions lors de périodes de surcharge [59]	Épidémie de lésions musculaires pendant un tournoi avec matches rapprochés
Hydratation insuffisante	Altération des propriétés viscoélastiques (diminution de la compliance musculaire) et augmentation de la fatigabilité neuromusculaire	Association avec un risque accru de crampes et lésions (niveau de preuve modéré) [62]	Crampes et lésions des ischio-jambiers chez des joueurs déshydratés en climat chaud
Récupération inadéquate	Accumulation de fatigue résiduelle (augmentation de la créatine kinase, diminution de la force maximale), diminution de la capacité de réparation tissulaire	Facteur reconnu dans les lésions de surcharge, surtout en période de matches rapprochés [58]	Lésions répétées des adducteurs chez un joueur avec temps de récupération insuffisant

5. Données épidémiologiques et interprétation clinique

Les données épidémiologiques montrent que la majorité des lésions musculaires chez le footballeur professionnel sont non traumatiques, principalement liées à un étirement excentrique ou à une contraction musculaire violente [1,58]. Les muscles les plus fréquemment atteints sont les ischio-jambiers, suivis des quadriceps et des adducteurs [1]. Les lésions surviennent préférentiellement lors des phases d'effort intense, notamment au cours des accélérations et des sauts [1,58].

La compréhension des mécanismes biomécaniques permet d'expliquer la distribution topographique des lésions observées en IRM et justifie l'utilisation des classifications modernes intégrant la localisation, l'étendue et la gravité lésionnelle afin d'estimer le délai de retour au jeu (53,54).

IV. Données épidémiologiques

1. Age

La littérature consacrée aux lésions musculaires chez le footballeur professionnel met en évidence une relative homogénéité des profils d'âge, étroitement liée au niveau de pratique et aux exigences du football de haut niveau. Les grandes cohortes européennes de football professionnel rapportent des âges moyens centrés sur le jeune adulte, généralement compris entre 20 et 30 ans, correspondant à la période de sollicitation maximale des capacités physiques, biomécaniques et neuromusculaires. Dans une large cohorte européenne de joueurs professionnels, Ekstrand et al. rapportent un âge moyen de $25,3 \pm 4,6$ ans, confirmant que les lésions musculaires surviennent préférentiellement au cours de cette phase de pleine activité compétitive [1]. Des séries issues du football d'élite ou d'athlètes de très haut niveau, évalués en imagerie, retrouvent des profils d'âge comparables, autour de 25-26 ans, traduisant une exposition similaire aux contraintes mécaniques et à la charge d'entraînement intensive [8,27,56].

Dans ce contexte, notre étude s'inscrit pleinement dans les données rapportées par la littérature spécialisée. L'âge moyen des footballeurs de notre cohorte était de $25,05 \pm 4,26$

ans, avec des extrêmes allant de 19 à 34 ans et une prédominance nette de la tranche 23–27 ans. Cette distribution reflète une population de joueurs en pleine phase de performance sportive, exposés de manière répétée aux contraintes spécifiques du football de haut niveau.

En comparaison, notre cohorte apparaît superposable aux grandes séries européennes de football professionnel, notamment celles issues des études UEFA, tant en termes d'âge moyen que de dispersion des valeurs [1,59]. Elle s'aligne également avec des séries plus ciblées, incluant des équipes professionnelles ou des athlètes élite évalués par IRM, qui rapportent des âges moyens compris entre 24 et 26 ans [8,27]. Ce positionnement confirme que notre population se situe au cœur du spectre d'âge classiquement décrit chez les footballeurs de haut niveau présentant des lésions musculaires.

La faible proportion de joueurs âgés de plus de 32 ans observée dans notre étude peut s'expliquer par la sélection naturelle opérée au plus haut niveau, la diminution progressive du temps de jeu avec l'âge et une individualisation accrue des charges d'entraînement et de récupération chez les joueurs expérimentés. À l'inverse, la présence non négligeable de joueurs plus jeunes souligne l'impact de la professionnalisation précoce, associée à une augmentation rapide des charges d'entraînement parfois avant une adaptation musculaire complète, favorisant ainsi la survenue des lésions musculaires [44].

Ainsi, la distribution d'âge observée dans notre étude est en adéquation avec les données de la littérature spécialisée et confirme que les lésions musculaires du membre inférieur chez le footballeur de haut niveau concernent majoritairement des joueurs jeunes adultes. Dans ce contexte, l'âge doit être interprété avant tout comme un marqueur d'exposition aux contraintes biomécaniques et fonctionnelles du football professionnel, plutôt que comme un facteur de risque indépendant.

Tableau 44 : Âge moyen des footballeurs dans quelques études comparatives.

Étude (pays)	Population	Effectif (n)	Âge moyen
Notre étude (Maroc)	Footballeurs de haut niveau	37	25,05 ± 4,26 ans
Ekstrand et al. (Europe) [1]	Footballeurs professionnels	> 2 000	25,3 ± 4,6 ans
Katagiri et al. (Japon) [8]	Athlètes élite (JO, IRM)	5 401	≈ 26 ans
Bucci et al. (États-Unis) [27]	Équipe professionnelle (MLS)	28	≈ 24-26 ans

2. Sexe

La littérature consacrée aux lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau met en évidence une nette prédominance masculine, essentiellement liée à la structure même du football professionnel. Les grandes séries épidémiologiques européennes, reposant sur des cohortes de joueurs professionnels, sont constituées quasi exclusivement d'hommes. Les travaux d'Ekstrand et al., issus des cohortes européennes et de l'UEFA Injury Study, rapportent ainsi des populations majoritairement, voire exclusivement, masculines [1,56]. De même, les études centrées sur des équipes professionnelles, telles que celles menées en Major League Soccer, incluent uniquement des joueurs masculins [27].

Dans des populations sportives plus larges, incluant différentes disciplines, cette prédominance masculine persiste. Katagiri et al. montrent que, parmi les athlètes d'élite présentant des lésions musculaires détectées en IRM lors des Jeux Olympiques de Tokyo 2020, les hommes restent majoritaires, bien que des athlètes féminines soient également représentées [8]. Ces données suggèrent que la distribution selon le sexe observée dans les études IRM reflète avant tout la structure des populations sportives étudiées.

Dans ce contexte, notre étude retrouve une nette prédominance masculine, avec 83,8 % d'hommes pour 16,2 % de femmes. Cette répartition est cohérente avec celle rapportée dans la littérature consacrée au football de haut niveau et reflète principalement l'organisation actuelle du football d'élite, où les effectifs masculins restent largement majoritaires.

Ainsi, la prédominance masculine observée dans notre cohorte apparaît davantage liée à des facteurs structurels et organisationnels du football de haut niveau qu'à une différence biologique intrinsèque de risque lésionnel. L'interprétation des données IRM selon

le sexe doit donc être réalisée avec prudence, en tenant compte de la sous-représentation des footballeuses dans les compétitions d'élite et, par conséquent, dans les séries publiées.

Tableau 45 : Répartition selon le sexe dans notre étude et dans la littérature.

Étude (pays)	Année	Population étudiée	Effectif (n)	Répartition selon le sexe
Notre étude (Maroc)	2025	Footballeurs de haut niveau	37	83,8 % hommes ; 16,2 % femmes
Ekstrand et al. – UEFA (Europe) [59]	2011	Footballeurs professionnels	> 2 000	Majorité masculine
Bucci et al. (États-Unis) [27]	2020	Équipe MLS	28	100 % hommes
Katagiri et al. (Japon) [8]	2023	Athlètes d'élite (JO, IRM)	5 401	Hommes majoritaires

3. Latéralité dominante

Dans notre série, la latéralité dominante montre une nette prédominance des droitiers (81,1 %), les gauchers représentant 18,9 % de l'effectif. Cette distribution est comparable à celle rapportée dans la population générale, où les droitiers représentent environ 85 à 90 % des individus, sans variation notable selon le type de pratique sportive [17,18]. Dans des populations sportives de haut niveau, Katagiri et al. rapportent également une majorité de sportifs droitiers parmi les athlètes présentant des lésions musculaires détectées en IRM lors des Jeux Olympiques de Tokyo 2020, sans analyse détaillée selon la latéralité dominante [8].

Ainsi, la prédominance des joueurs droitiers observée dans notre cohorte est cohérente avec la distribution naturelle de la latéralité dans la population générale. Cette répartition indique que la latéralité dominante chez les footballeurs de haut niveau correspond avant tout à un facteur démographique, sans élément en faveur d'un rôle spécifique dans la survenue globale des lésions musculaires du membre inférieur.

Tableau 46 : Répartition selon la latéralité dominante dans notre étude et dans la littérature.

Auteur	Année	Population	Résultats
Notre étude	2025	Footballeurs de haut niveau	81,1 % droitiers ; 18,9 % gauchers
Neumann [17]	2017	Population générale	≈ 85–90 % droitiers
Kapandji [17]	2012	Population générale	≈ 85 % droitiers
Katagiri et al.[8]	2023	Athlètes élite (JO)	Majorité de droitiers

4. La charge d'entraînement

La charge d'entraînement constitue un paramètre central de l'exposition aux contraintes physiques chez le footballeur de haut niveau. La littérature rapporte des volumes d'entraînement hebdomadaires généralement compris entre 8 et 14 heures, en dehors des compétitions, avec des variations selon la période de la saison et le niveau de jeu [56,58].

Dans notre étude, la charge d'entraînement hebdomadaire était comprise entre 9 et 13 heures, avec une moyenne estimée autour de 10 à 11 heures. Ces valeurs se situent dans les plages décrites dans la littérature et traduisent une exposition comparable à celle rapportée chez les footballeurs professionnels.

Cette charge apparaît compatible avec une pratique de haut niveau régulière et conforte le caractère représentatif de notre cohorte pour l'analyse IRM des lésions musculaires observées.

Tableau 47 : Charge d'entraînement hebdomadaire dans notre étude et dans la littérature.

Étude (pays)	Année	Population étudiée	Charge d'entraînement hebdomadaire
Notre étude (Maroc)	2025	Footballeurs de haut niveau	9-13 heures (moyenne $\approx$ 10-11 heures)
Ekstrand et al. (Europe) [56]	2006	Footballeurs élite	$\approx$ 8-12 heures
Dellal et al. (France) [58]	2015	Footballeurs professionnels	$\approx$ 10-14 heures

V. Circonstances de survenue

1. Type de traumatisme

La littérature consacrée au football professionnel rapporte une prédominance marquée des mécanismes intrinsèques. Ekstrand et al. montrent que plus de 90 % des lésions musculaires chez les footballeurs professionnels surviennent sans contact direct [1,59]. Les revues dédiées à l'imagerie des lésions musculaires en football confirment que les traumatismes extrinsèques restent rares, les atteintes étant le plus souvent liées à des

mécanismes internes survenant lors de l'activité sportive [2,3]. Des données issues de populations sportives plus larges, incluant différentes disciplines, retrouvent également cette prédominance des lésions intrinsèques détectées en IRM, bien que leur proportion puisse varier selon le type de sport [8].

L'absence de traumatismes extrinsèques dans notre cohorte peut s'expliquer par la nature des contraintes mécaniques propres au football de haut niveau et par un recrutement centré sur des lésions musculaires structurelles objectivées en IRM, les contusions isolées liées à des chocs directs étant moins fréquemment explorées en imagerie.

Tableau 48 : Répartition des lésions musculaires selon le type de traumatisme dans notre étude et dans la littérature.

Étude (pays)	Année	Population étudiée	Type de traumatisme
Notre étude (Maroc)	2025	Footballeurs de haut niveau	100 % intrinsèque ; 0 % extrinsèque
Ekstrand et al. (Europe) [59]	2011	Footballeurs professionnels	> 90 % intrinsèque
Heiss et al. (International) [2]	2025	Football professionnel (revue IRM)	Intrinsèque majoritaire
Guermazi et al. (International) [3]	2015	Sportifs de haut niveau (revue)	Intrinsèque majoritaire
Katagiri et al. (Japon) [8]	2023	Athlètes élite (JO, IRM)	Intrinsèque majoritaire

2. Contexte de survenue

Les études épidémiologiques menées en football professionnel montrent que les lésions musculaires surviennent préférentiellement en situation de match, malgré une durée d'exposition plus importante lors des séances d'entraînement. Les grandes cohortes européennes, notamment celles issues de l'UEFA Injury Study, rapportent une incidence plus élevée des blessures musculaires en compétition] [1,59]. Les travaux consacrés à l'imagerie des lésions musculaires en football indiquent également que les lésions explorées en IRM sont le plus souvent consécutives à un épisode survenu en match . Cette tendance est retrouvée dans des populations d'athlètes d'élite toutes disciplines confondues [8].

Dans notre cohorte, 62,2 % des lésions musculaires sont survenues en situation de match, contre 37,8 % à l'entraînement. Cette répartition peut être attribuée à l'intensité

maximale des sollicitations rencontrées en compétition, associant efforts explosifs, accélérations répétées, opposition directe et contraintes décisionnelles élevées, souvent dans un contexte de fatigue neuromusculaire accrue. Ces conditions, spécifiques au cadre compétitif, favorisent la survenue de lésions musculaires indépendamment du volume d'entraînement [59].

Tableau 49 : Contexte de survenue des lésions musculaires dans notre étude et dans la littérature.

Étude (pays)	Année	Population étudiée	Contexte de survenue
Notre étude (Maroc)	2025	Footballeurs de haut niveau	Match majoritaire (62,2 %)
Ekstrand et al. (Europe) [59]	2011	Footballeurs professionnels	Lésions plus fréquentes en match
Heiss et al. (International) [2]	2025	Football professionnel (revue IRM)	Match prédominant
Katagiri et al. (Japon) [8]	2023	Athlètes élite (JO)	Compétition prédominante

VI. Données cliniques

1. Les antécédents

1.1. Antécédents musculaires antérieurs

La littérature consacrée au football professionnel montre que les antécédents musculaires sont fréquemment retrouvés chez les joueurs présentant une nouvelle lésion. Ekstrand et al. rapportent une prévalence comprise entre 30 et 50 %, soulignant le poids des lésions antérieures dans l'histoire lésionnelle [1,59]. Plusieurs travaux confirment que les ischio-jambiers constituent le groupe musculaire le plus souvent impliqué dans les antécédents et les récides, devant les adducteurs et le quadriceps [44,60].

Dans notre étude, 43,2 % des joueurs présentaient des antécédents musculaires, tandis que 56,8 % n'avaient jamais rapporté de blessure musculaire préalable. Parmi les joueurs concernés, les ischio-jambiers étaient les plus fréquemment touchés (50 %), suivis des adducteurs (25 %) et des quadriceps (18,8 %). Cette prévalence et cette distribution topographique sont concordantes avec les données publiées et reflètent l'exposition préférentielle de ces groupes musculaires aux contraintes répétées du football de haut niveau.

Tableau 50 : Antécédents musculaires dans notre étude et dans la littérature.

Étude (pays)	Année	Population étudiée	Prévalence des antécédents musculaires	Localisation dominante
Notre étude (Maroc)	2025	Footballeurs de haut niveau	43,2 %	Ischio-jambiers
Ekstrand et al. (Europe) [59]	2011	Footballeurs professionnels	30-50 %	Ischio-jambiers
Opar et al. (International) [44]	2012	Footballeurs	Fréquents	Ischio-jambiers
Croisier et al. (International) [60]	2008	Sportifs	Fréquents	Ischio-jambiers, adducteurs

1.2. Autres antécédents médicaux

Dans notre série, 8,1 % des joueurs présentaient des antécédents de tendinopathies. Aucun antécédent de fracture ni de chirurgie antérieure n'a été retrouvé. Deux joueurs (5,4 %) étaient sous traitement médical au moment du traumatisme.

La littérature rapporte également une faible fréquence des antécédents médicaux non musculaires chez les footballeurs de haut niveau. Brukner et Khan indiquent que les joueurs professionnels présentent rarement des antécédents médicaux lourds, en dehors des atteintes musculo-tendineuses liées à la pratique sportive [53]. Les antécédents chirurgicaux ou osseux sont peu mentionnés dans les grandes séries consacrées au football professionnel [59].

2. Examen clinique

2.1. Signes cliniques et symptômes immédiats

La littérature décrit un tableau clinique relativement homogène des lésions musculaires aiguës chez le sportif. La douleur aiguë et localisée constitue le signe le plus constant, fréquemment associée à une sensation de claquage au moment du traumatisme[6]. Brukner et Khan soulignent que cette douleur impose souvent l'arrêt immédiat de l'activité dans les formes aiguës, tandis que des présentations moins sévères peuvent se manifester par des douleurs apparaissant ou s'aggravant à l'effort [53]. Les signes cutanés, tels que l'hématome ou l'ecchymose, sont inconstants et souvent retardés, expliquant leur fréquence variable selon

les séries [6]. Flores et al. confirment que l'absence de signes cutanés visibles n'exclut pas une lésion musculaire significative, illustrant les limites de l'examen clinique isolé [55].

Dans notre cohorte, la douleur localisée était retrouvée chez l'ensemble des footballeurs (100 %). Une sensation de claquage musculaire était rapportée dans 89,2 % des cas, et un arrêt immédiat de l'activité concernait 67,6 % des joueurs. Les signes cutanés étaient moins fréquents, avec un hématome objectivé chez 27 % des footballeurs et des signes cutanés visibles rares (5,4 %). Concernant les symptômes immédiats, la douleur brutale constituait la présentation initiale la plus fréquente (56,8 %), tandis que des douleurs survenant ou s'aggravant à l'effort étaient rapportées dans 43,2 % des cas.

Ces résultats illustrent les limites de l'examen clinique isolé, la présence de signes cliniques évocateurs, notamment la douleur et la sensation de claquage, n'étant pas systématiquement associée à une lésion musculaire structurelle objectivable en IRM.

Tableau 51 : Signes cliniques et symptômes immédiats des lésions musculaires dans notre étude et dans la littérature.

Étude (pays)	Année	Population étudiée	Signes cliniques dominants
Notre étude (Maroc)	2025	Footballeurs de haut niveau	Douleur localisée (100 %), claquage fréquent, arrêt d'activité fréquent, signes cutanés inconstants
Guerini et al. (France) [6]	2017	Sportifs	Douleur aiguë localisée, claquage fréquent
Brukner & Khan (International) [53]	2020	Sportifs	Douleur brutale, arrêt fréquent de l'activité
Flores et al. (International) [55]	2018	Sportifs	Signes cutanés inconstants, parfois retardés

2.2. Côté atteint

La littérature spécifiquement consacrée au football professionnel ne met pas en évidence de latéralisation constante des lésions musculaires du membre inférieur. Les grandes cohortes européennes issues de l'UEFA Injury Study rapportent une répartition globalement équilibrée entre le membre inférieur droit et le membre inférieur gauche, sans prédominance significative d'un côté [59]. De même, les séries portant exclusivement sur des équipes professionnelles,

notamment en Major League Soccer, confirment l'absence de latéralisation nette des lésions musculaires chez les footballeurs [27].

Dans notre étude, l'atteinte concernait légèrement plus souvent le côté droit (56,8 %) que le côté gauche (43,2 %). Cette différence demeure modérée et s'inscrit dans la variabilité observée dans les cohortes exclusivement footballistiques, sans écart notable par rapport aux données publiées.

Cette légère asymétrie peut s'expliquer par des facteurs circonstanciels liés à la pratique du football, tels que la dominance fonctionnelle lors de la frappe de balle, les schémas individuels de sollicitation musculaire et la répartition des charges d'entraînement et de compétition. Elle ne suggère pas l'existence d'un facteur anatomique ou biomécanique prédisposant spécifique. Ainsi, nos résultats confirment que le côté atteint ne constitue pas un déterminant majeur des lésions musculaires du membre inférieur chez le footballeur de haut niveau.

Tableau 52 : Répartition du côté atteint des lésions musculaires du membre inférieur dans des populations exclusivement footballistiques.

Auteur	Population	Année	Côté droit	Côté gauche
Notre étude	Footballeurs de haut niveau	2025	56,8 %	43,2 %
Ekstrand et al. [59]	Football professionnel UEFA	2011	Répartition équilibrée	Répartition équilibrée
Bucci et al. [27]	Équipe professionnelle (MLS)	2020	Pas de prédominance nette	Pas de prédominance nette

2.3. Région musculaire atteinte

Les ischio-jambiers constituent, dans les grandes cohortes de football professionnel, le groupe musculaire le plus fréquemment atteint, devant les adducteurs puis le quadriceps, tandis que les lésions du mollet restent nettement moins fréquentes [1,56,59]. Cette hiérarchie anatomique traduit les contraintes biomécaniques spécifiques du football, dominées par les phases de sprint, les accélérations répétées et les gestes explosifs sollicitant préférentiellement les muscles de la cuisse.

Dans notre étude, la région musculaire la plus fréquemment atteinte était la loge postérieure de la cuisse (35,1 %), suivie de la loge antéro-interne de la cuisse (32,4 %). Les

atteintes de la loge antérieure de la cuisse représentaient 21,6 % des cas, tandis que les lésions de la loge postérieure de la jambe restaient moins fréquentes (10,8 %). Cette distribution s'inscrit dans la hiérarchie anatomique classiquement décrite chez les footballeurs de haut niveau.

Les études IRM confirment cette organisation topographique, avec une prédominance des lésions de la cuisse et un caractère minoritaire des atteintes du mollet [6,26,26]. Dans une équipe professionnelle de Major League Soccer, Bucci et al. rapportaient également une majorité de lésions des ischio-jambiers, suivies des adducteurs [27]. Ces données concordent avec nos résultats et renforcent la représentativité de notre cohorte.

Tableau 53 : Régions musculaires atteintes dans notre étude et dans la littérature.

Auteur	Population	Année	Régions principalement atteintes
Notre étude	Footballeurs de haut niveau	2025	Cuisse postérieure, adducteurs/inguinal, quadriceps, mollet
Ekstrand et al. [59]	Football professionnel	2006–2011	Ischio-jambiers, adducteurs, quadriceps
Guerini et al. [6]	Sportifs	2017	Cuisse > jambe
Isern-Kebschull et al. [26]	Sportifs (IRM)	2020	Cuisse prédominante
Bucci et al. [27]	Équipe MLS	2020	Ischio-jambiers > adducteurs

VII. Apport de l'IRM dans l'exploration des lésions musculaires

1. Délai post-traumatique avant réalisation de l'IRM

Le moment choisi pour la réalisation de l'IRM après un traumatisme musculaire conditionne directement la qualité de l'analyse morphologique et la pertinence de l'évaluation pronostique. Un délai inadapté peut conduire soit à une sous-estimation de l'étendue lésionnelle lorsque l'examen est trop précoce, soit à une interprétation biaisée par les phénomènes précoces de réparation tissulaire lorsque l'IRM est réalisée tardivement.

Guermazi et al. indiquent qu'une IRM réalisée dans les 48 à 72 heures suivant le traumatisme permet une visualisation optimale de l'œdème musculaire sur les séquences sensibles au liquide, tout en identifiant de manière fiable les lésions structurales, en particulier

au niveau des jonctions myotendineuses [3]. Un examen trop précoce peut sous-estimer l'étendue réelle de la lésion du fait d'une constitution incomplète de l'œdème, tandis qu'un examen tardif peut être influencé par les remaniements cicatriciels précoces.

Dans le football professionnel, Ekstrand et al. rapportent que l'IRM est le plus souvent réalisée dans les premiers jours suivant le traumatisme afin d'optimiser l'évaluation de la gravité lésionnelle et d'orienter la prise en charge thérapeutique [1,59]. Reurink et al., dans leur étude consacrée aux lésions des ischio-jambiers, confirment l'intérêt d'un délai court, généralement compris entre 2 et 5 jours, pour une caractérisation précise des lésions, tout en soulignant que certaines anomalies IRM peuvent persister malgré la récupération clinique [4]. Plus récemment, Heiss et al. rappellent que la réalisation précoce de l'IRM chez le footballeur permet non seulement un diagnostic fiable, mais également une meilleure standardisation de l'évaluation initiale, un délai excessif pouvant compliquer l'interprétation en raison des remaniements cicatriciels précoces [2] .

Dans notre étude, l'IRM a été réalisée dans un délai relativement précoce après le traumatisme musculaire, avec un délai moyen de 3 jours. La majorité des examens a été effectuée entre J2 et J3, traduisant une prise en charge rapide des footballeurs, compatible avec les exigences du football de haut niveau. Ce délai s'inscrit pleinement dans les recommandations issues de la littérature de référence et constitue un élément méthodologique favorable à la fiabilité des données analysées.

Tableau 54 : Délais de réalisation de l'IRM post-traumatique dans la littérature.

Auteur	Année	Population	Délai IRM observé ou recommandé
Notre étude	2025	Footballeurs de haut niveau	Majorité entre J2-J3 (moyenne 3 jours)
Germazi et al. [3]	2015	Sportifs (revue critique)	Optimal entre 48-72 h
Ekstrand et al. [59]	2011	Footballeurs professionnels	IRM dans les premiers jours
Reurink et al. [4]	2014	Lésions des ischio-jambiers	IRM entre J2 et J5
Heiss et al. [2]	2025	Joueurs de football	IRM précoce recommandée (< 5 jours)

2. Technique IRM

L'imagerie par résonance magnétique représente actuellement la modalité de référence pour l'exploration des lésions musculaires du membre inférieur chez le footballeur de haut niveau. Elle permet une analyse détaillée des structures musculaires, myotendineuses et aponévrotiques grâce à son excellente résolution en contraste, à son caractère multiplanair et à l'absence d'irradiation ionisante [3,6,63]. Les travaux récents consacrés au football professionnel confirment que l'IRM est supérieure aux autres modalités d'imagerie pour la caractérisation précise des lésions, leur localisation exacte et l'évaluation de leur étendue [2,19,52].

L'examen est idéalement réalisé sur un aimant à haut champ (1,5 T ou 3 T), avec une antenne de surface dédiée au membre inférieur, garantissant un rapport signal/bruit optimal et une résolution spatiale adaptée à l'analyse de lésions parfois de faible taille [3,6,63]. Ces conditions techniques sont considérées comme indispensables dans le contexte du sport de haut niveau, notamment pour l'évaluation des atteintes myotendineuses [52] .

2.1. Position du patient

Dans notre étude, les examens IRM étaient réalisés chez des patients installés en décubitus dorsal, dans une position confortable, stable et reproductible, avec le membre inférieur exploré maintenu en position neutre. Cette installation vise à limiter les artéfacts de mouvement et à éviter toute mise en tension artificielle des groupes musculaires, susceptible de modifier l'aspect morphologique des lésions, en particulier au niveau des jonctions myotendineuses.

La littérature souligne l'importance de cette position neutre, surtout en phase aiguë, afin de ne pas surestimer l'étendue lésionnelle ni altérer l'interprétation des structures conjonctives et aponévrotiques [3,6]. Une installation standardisée est également essentielle pour assurer la comparabilité des examens successifs, notamment lors du suivi évolutif ou de l'évaluation pré-reprise sportive [4,52] .

2.2. Séquences et plans de coupe

a. Séquences pondérées en T1

Les séquences pondérées en T1 ont été réalisées systématiquement en coupes coronales chez l'ensemble des footballeurs. Elles constituent la base de l'analyse morphologique en IRM musculaire. Ces séquences permettent une excellente visualisation de l'anatomie musculaire normale, des structures tendineuses et aponévrotiques, ainsi que des interfaces musculaires [3,6,55].

Elles sont particulièrement utiles pour identifier des anomalies chroniques telles que les cicatrices fibreuses, les remaniements cicatriciels anciens, l'atrophie musculaire ou les infiltrations graisseuses, qui peuvent influencer l'interprétation des lésions aiguës] [3,55,63]. Guermazi et al. Insistent sur le rôle fondamental des séquences T1 dans toute évaluation complète des lésions musculaires traumatiques [3,63].

b. Séquences DP Fat Sat

Les séquences DP Fat Sat ont été acquises de manière systématique en coupes axiales et coronales chez tous les patients. Ces séquences, associant une pondération intermédiaire et une suppression du signal graisseux, offrent un excellent compromis entre résolution anatomique et sensibilité aux modifications pathologiques du muscle.

Elles permettent une détection fine de l'œdème musculaire, des ruptures fibreuses, des atteintes aponévrotiques et myotendineuses, ainsi que des collections liquidiennes ou hématomes associés [3,19,55]. Plusieurs auteurs considèrent les séquences DP Fat Sat comme particulièrement adaptées à l'analyse topographique précise des lésions musculaires chez le sportif [3,6,63].

c. Séquences T2 STIR

Les séquences T2 STIR ont été réalisées de façon systématique en coupes axiales et coronales, avec des coupes sagittales réalisées de manière ciblée chez un peu plus de la moitié des patients. Ces séquences sont extrêmement sensibles à l'augmentation du contenu en eau des tissus et constituent le pilier de l'exploration des lésions musculaires aiguës.

Elles permettent de mettre en évidence l'œdème musculaire, les ruptures fibrillaires, les atteintes myotendineuses et les hématomes, parfois avant l'apparition de modifications

structurales visibles sur les autres séquences [19,55,63]. Guermazi et al. ainsi que Heiss et al. soulignent que les séquences T2 STIR sont indispensables à l'évaluation diagnostique et pronostique des lésions musculaires chez le footballeur [2,63].

d. Plans de coupe

L'analyse IRM des lésions musculaires doit être systématiquement multiplanaire. Les coupes axiales permettent une analyse détaillée de l'architecture musculaire, de la topographie lésionnelle et de l'atteinte relative des différents faisceaux musculaires [6,19,26].

Les coupes coronales sont particulièrement utiles pour apprécier l'extension longitudinale et médio-latérale des lésions, notamment au niveau des ischio-jambiers, des adducteurs et du quadriceps [6,19,26].

Les coupes sagittales, réalisées de manière ciblée, présentent un intérêt complémentaire pour l'évaluation de l'extension cranio-caudale de certaines lésions complexes ou étendues, comme le rapportent Heiss et al. et Di Pietto et al. [2,52].

2.3. Épaisseur de coupe

Dans notre étude, l'exploration IRM des lésions musculaires reposait sur l'utilisation de coupes relativement fines, généralement comprises entre 3 et 5 mm. Cette épaisseur permet de limiter les effets de volume partiel tout en conservant un rapport signal/bruit satisfaisant.

La littérature souligne qu'une épaisseur de coupe excessive peut conduire à une sous-estimation des lésions de faible étendue, en particulier au niveau des jonctions myotendineuses et des structures aponévrotiques profondes [7,63]. À l'inverse, des coupes trop fines peuvent allonger inutilement la durée de l'examen sans bénéfice diagnostique clairement démontré dans la pratique clinique courante [2,52].

Ainsi, un compromis entre résolution spatiale, qualité du signal et faisabilité de l'examen est recommandé, en particulier dans le contexte du sport de haut niveau où une prise en charge rapide et reproductible est essentielle [52,63].

3. Apport de l'IRM dans l'exploration des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau

Chez le footballeur de haut niveau, l'IRM constitue un outil central pour l'exploration des lésions musculaires du membre inférieur, en permettant une analyse objective, reproductible et détaillée des atteintes musculaires et conjonctives. Elle apporte des informations essentielles qui dépassent les données cliniques, souvent limitées en phase aiguë par la douleur ou l'imprécision des signes fonctionnels [3,6].

Sur le plan diagnostique, l'IRM permet de confirmer l'existence d'une lésion musculaire et d'en préciser avec exactitude la localisation, le muscle atteint et la topographie lésionnelle. Elle distingue de manière fiable les atteintes fonctionnelles simples des lésions structurales véritables, en mettant en évidence l'œdème musculaire, les ruptures fibrillaires, les désinsertions partielles ou complètes ainsi que les hématomes associés [6,19,55]. Cette caractérisation morphologique est essentielle pour apprécier la gravité réelle de la lésion et orienter la prise en charge initiale.

L'IRM joue également un rôle majeur dans l'analyse des structures préférentiellement atteintes chez le footballeur, notamment les jonctions myotendineuses, les aponévroses et les tendons intramusculaires. Ces atteintes, souvent difficiles à identifier cliniquement en raison de leur profondeur ou de la symptomatologie trompeuse, sont clairement individualisées en IRM, permettant une description plus précise des lésions et une meilleure compréhension de leur mécanisme [7,63]. Les séries récentes consacrées au football professionnel confirment que l'IRM améliore significativement la qualité de l'exploration, en particulier pour les lésions profondes ou complexes [2,52].

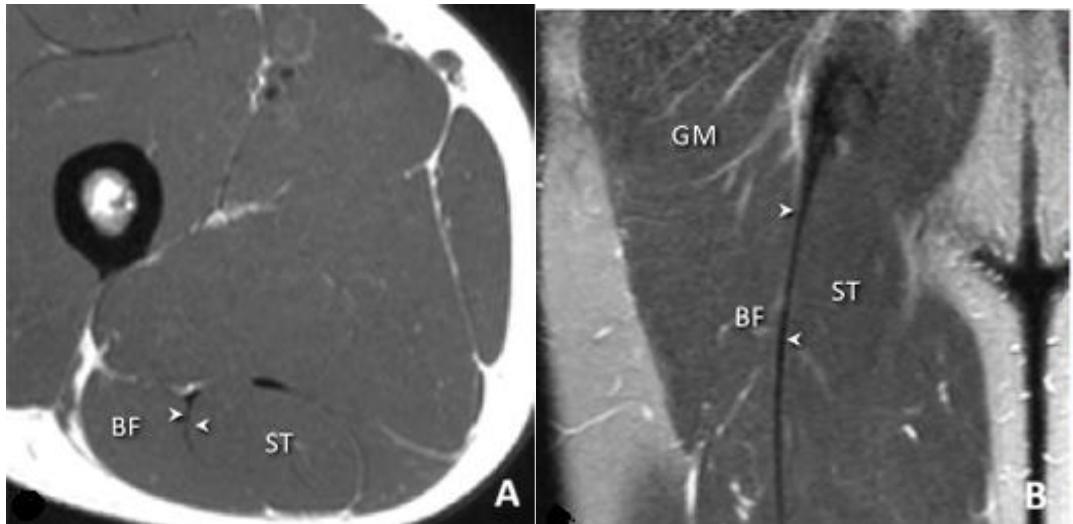


Figure 74 : Jonction myotendineuse proximale normale du semi-tendineux et du biceps fémoral.

IRM en séquence T1, coupes axiale (A) et coronale (B) montrant l'origine et le trajet du tendon conjoint au niveau de la jonction myotendineuse proximale du semi-tendineux (ST) et du biceps fémoral (BF). [5]

Au-delà de l'identification et de la caractérisation des lésions, l'IRM apporte des éléments pronostiques importants. Plusieurs études ont montré que certains critères IRM, tels que l'atteinte de la jonction myotendineuse, l'atteinte du tendon intramusculaire, l'étendue longitudinale de la lésion, l'importance de l'œdème ou la présence d'un hématome volumineux, sont associés à une durée d'indisponibilité plus longue et à un risque accru de récurrence [4,61,63]. Ces informations permettent d'anticiper l'évolution de la lésion et d'adapter la stratégie thérapeutique chez le footballeur de haut niveau.

Toutefois, la valeur pronostique de l'IRM ne doit pas être considérée comme absolue. Plusieurs auteurs soulignent que certaines anomalies IRM peuvent persister malgré une récupération clinique complète et fonctionnelle, ce qui impose une interprétation prudente et intégrée aux données cliniques [4,52,63]. L'IRM constitue ainsi un outil d'aide à l'évaluation pronostique, sans se substituer à l'examen clinique et fonctionnel.

Enfin, l'IRM contribue à une exploration standardisée des lésions musculaires, facilitant leur classification et la comparaison des examens réalisés à différents temps de la prise en charge. Cette standardisation améliore la communication entre radiologues, médecins du

sport et équipes de rééducation, et s'inscrit dans une approche multidisciplinaire indispensable à la gestion optimale des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau [6,57,63].

4. Radio anatomie musculaire normale

4.1 Généralité

La connaissance précise de la radio-anatomie musculaire normale du membre inférieur constitue un préalable indispensable à l'interprétation fiable des examens IRM chez le footballeur de haut niveau. Elle permet d'identifier correctement les structures musculaires et conjonctives normales, de reconnaître les variantes anatomiques et les adaptations liées à l'entraînement intensif, et d'éviter les confusions avec des lésions pathologiques [3,6].

En IRM, le muscle normal présente un signal homogène, de faible à intermédiaire intensité sur les séquences pondérées en T1, sans hypersignal sur les séquences sensibles au liquide. L'architecture musculaire est bien individualisée, avec une organisation régulière des faisceaux et des limites nettes entre les différents groupes musculaires [3,55]. Les cloisons conjonctives intramusculaires, correspondant à l'endomysium, au périmysium et à l'épimysium, apparaissent sous forme de fines structures linéaires en hyposignal, assurant la continuité entre les fibres musculaires et les structures tendineuses [3,63].

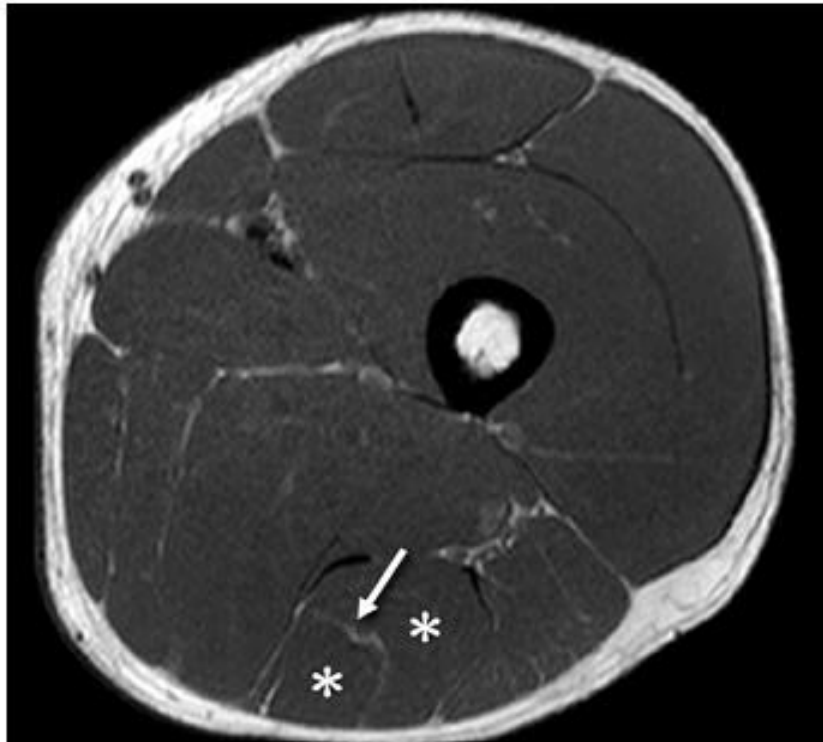


Figure 75 : Radio-anatomie IRM normale du muscle semi-tendineux.

Coupe axiale pondérée T1 montrant un muscle semi-tendineux de signal homogène. Le tendon (ou raphe) intramusculaire apparaît sous la forme d'une structure linéaire en hyposignal (flèche), divisant le muscle en deux contingents musculaires distincts (*). De discrètes variations de signal liées à l'orientation des fibres peuvent être observées, sans traduction pathologique. [5]

Les tendons et les aponévroses présentent un hyposignal franc sur l'ensemble des séquences IRM, traduisant leur richesse en fibres collagéniques. Les tendons intramusculaires, fréquemment rencontrés au niveau des ischio-jambiers, du muscle droit fémoral et des adducteurs, doivent être soigneusement identifiés en raison de leur rôle clé dans l'analyse topographique des lésions musculaires et de leur implication fréquente dans les formes sévères [6,63].

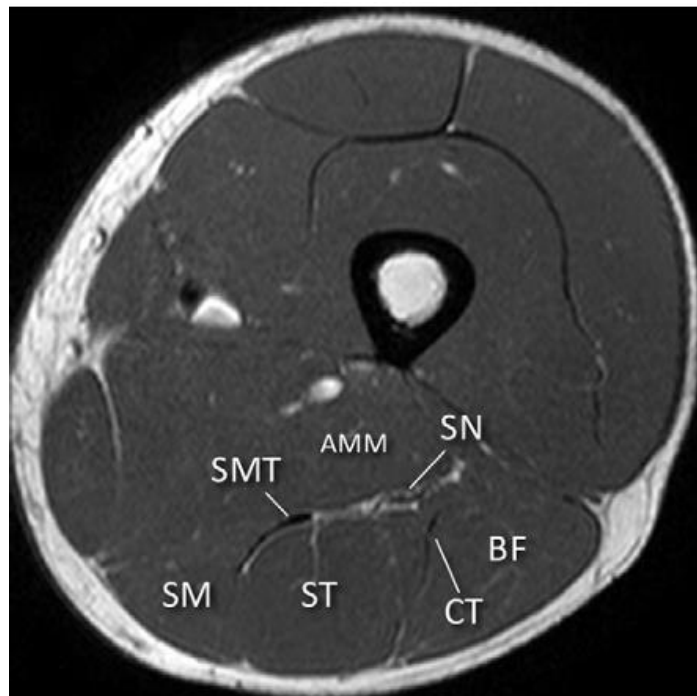


Figure 76 : Radio-anatomie IRM normale des ischio-jambiers proximaux et de leurs tendons intramusculaires.

IRM en séquence T1, coupe axiale au niveau proximal de la cuisse montrant les muscles ischio-jambiers, le tendon conjoint (CT) et le tendon intramusculaire du semi-membraneux (SMT), ainsi que leurs rapports avec l'adducteur magnus (AMM) et le nerf sciatique (SN). [5]

Les jonctions myotendineuses, zones de transition anatomique entre le muscle et le tendon, sont clairement individualisées en IRM. Leur aspect normal se caractérise par une continuité harmonieuse des fibres musculaires vers le tendon, sans interruption ni hypersignal pathologique. Ces zones doivent être analysées avec attention, compte tenu de leur vulnérabilité particulière aux lésions traumatiques chez le footballeur [7,63].

Chez le footballeur de haut niveau, certaines adaptations physiologiques peuvent être observées, telles qu'une hypertrophie musculaire symétrique ou une augmentation du volume de certains groupes musculaires sollicités. Un hypersignal discret et diffus sur les séquences sensibles à l'eau peut parfois être observé après un effort intense, correspondant à des phénomènes d'adaptation transitoire. Ces aspects doivent être interprétés avec prudence et corrélés aux données cliniques afin de ne pas être confondus avec des lésions aiguës [3,4,52].

Ainsi, la maîtrise de la radio-anatomie musculaire normale permet d'améliorer la sensibilité et la spécificité diagnostiques de l'IRM, de réduire le risque de faux positifs et d'optimiser l'interprétation des images chez le footballeur de haut niveau [6].

4.2 Radio-anatomie IRM normale des ischio-jambiers

En IRM, le groupe musculaire des ischio-jambiers comprend le biceps fémoral, le semi-tendineux et le semi-membraneux, disposés dans la loge postérieure de la cuisse. Sur les séquences pondérées en T1, ces muscles présentent un signal homogène, de faible à intermédiaire intensité, avec une individualisation nette des faisceaux musculaires et des cloisons conjonctives.

Les tendons intramusculaires, en particulier le tendon intramusculaire du semi-membraneux et le tendon conjoint proximal, apparaissent en hyposignal franc sur toutes les séquences et constituent des repères anatomiques essentiels en IRM. La jonction myotendineuse proximale est bien individualisée, sans interruption ni hypersignal en situation normale, et doit être soigneusement analysée en raison de sa vulnérabilité lésionnelle chez le footballeur de haut niveau [3,5,63].

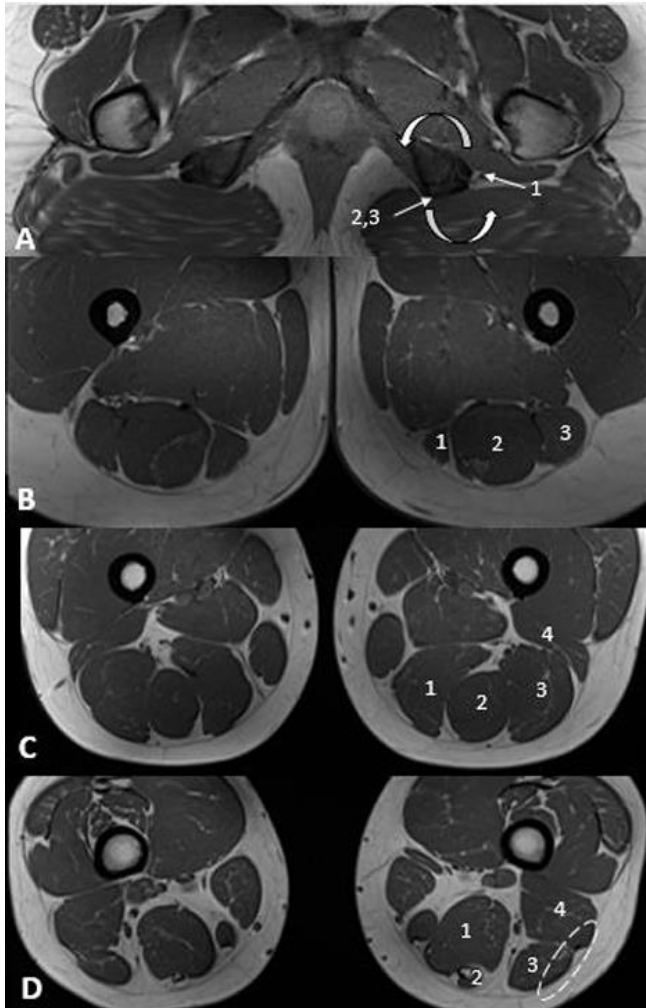


Figure 77 : Radio-anatomie IRM des muscles ischio-jambiers.

Imagerie par résonance magnétique en séquence pondérée T1, en coupes axiales successives,

présentées de proximal à distal de haut en bas (A à D).

Le groupe musculaire des ischio-jambiers est constitué du semi-membraneux (SM, 1), du semi-tendineux (ST, 2), du biceps fémoral chef long (BFCL, 3) et du biceps fémoral chef court (BFCC, 4).

(A) Coupe proximale au niveau de la tubérosité ischiatique : origine commune des ischio-jambiers, avec le semi-membraneux situé en position antéro-latérale et le tendon conjoint du semi-tendineux et du biceps fémoral chef long en position postéro-médiale. Le développement tendineux et musculaire se fait préférentiellement en dedans pour le semi-membraneux et en dehors pour le semi-tendineux et le biceps fémoral chef long.

(B) Tiers proximal de la cuisse : le corps musculaire du semi-tendineux est déjà bien individualisé, tandis que le biceps fémoral chef long conserve un aspect majoritairement tendineux. Le semi-membraneux reste essentiellement membraneux à ce niveau.

(C) Tiers moyen : les quatre chefs musculaires sont clairement individualisés et présentent un aspect charnu. Le biceps fémoral chef court apparaît en avant des autres muscles, au niveau de la ligne âpre du fémur.

(D) Tiers distal : le semi-tendineux devient exclusivement tendineux et se situe en arrière et en dedans du semi-membraneux, qui demeure largement charnu. En dehors, le volume musculaire du biceps fémoral chef long diminue progressivement au profit du chef court, qui devient prédominant et participe à la formation du tendon distal commun (cercle en pointillé). [20]

4.3 Radio-anatomie IRM normale des adducteurs

Le compartiment médial de la cuisse est constitué principalement du long adducteur, du court adducteur, du grand adducteur et du gracile. En IRM, ces muscles présentent un signal homogène en T1, avec une organisation fasciculaire régulière.

Le long adducteur se distingue par la présence d'une aponévrose horizontale et de cloisons conjonctives intramusculaires bien visibles en hyposignal, qui jouent un rôle clé dans l'analyse topographique des lésions. Les insertions proximales pubiennes et les jonctions myotendineuses doivent être précisément identifiées, ces zones étant fréquemment impliquées dans les lésions chez le footballeur [3,6,31,63] .

4.4 Radio-anatomie IRM normale du quadriceps

Le quadriceps est constitué du droit fémoral, du vaste latéral, du vaste médial et du vaste intermédiaire. En imagerie par résonance magnétique, le droit fémoral présente une architecture particulière, caractérisée par la présence d'une aponévrose centrale intramusculaire bien individualisée en hyposignal, séparant le muscle en deux contingents musculaires distincts. Les tendons direct et indirect du droit fémoral apparaissent en hyposignal marqué sur l'ensemble des séquences IRM. Les tendons direct, issu de l'épine iliaque antéro-inférieure, et indirect, correspondant au chef réfléchi prenant origine au niveau du rebord acétabulaire, constituent des repères anatomiques essentiels en IRM. L'identification précise de ces structures est fondamentale, compte tenu de leur implication fréquente dans les lésions musculaires chez le footballeur, notamment lors des efforts explosifs [3,6,28,29,63].

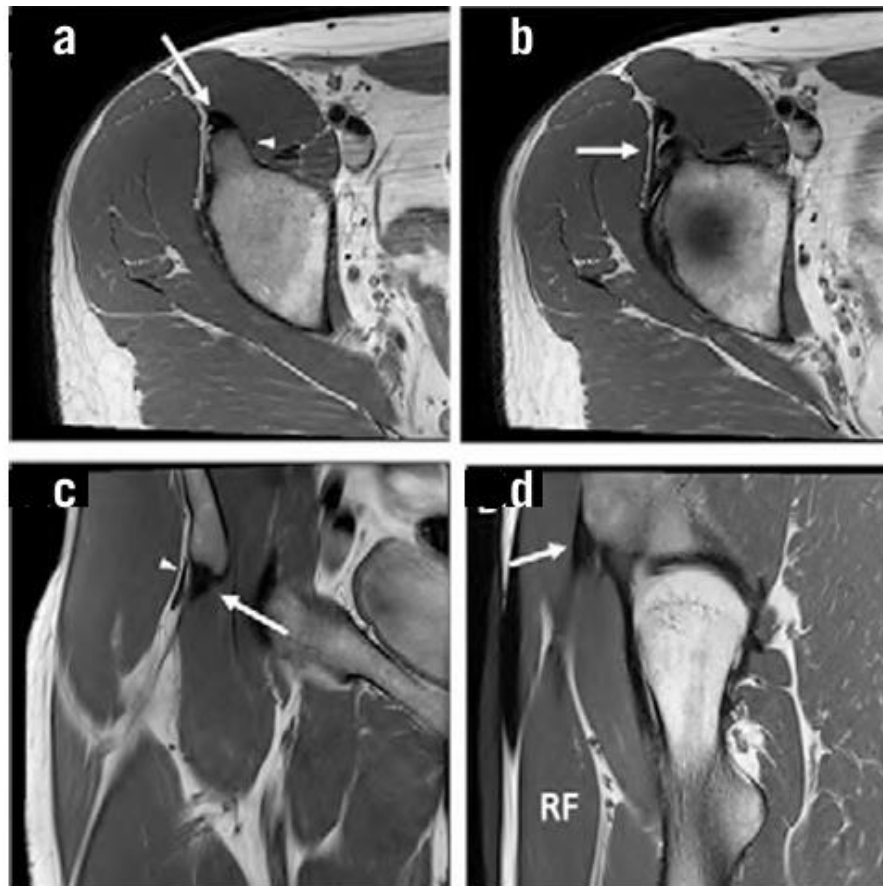


Figure 78 : Radio-anatomie IRM normale de l'origine du muscle droit fémoral.

Imagerie par résonance magnétique en pondération proton density, réalisée en coupes axiales obliques (A, B), coronale (C) et sagittale (D).

- (a) Coupe axiale oblique montrant l'épine iliaque antéro-inférieure (tête de flèche) et le tendon direct (chef droit) du muscle droit fémoral (flèche).
- (b) Coupe axiale oblique montrant le tendon indirect (chef réfléchi) du muscle droit fémoral (flèche), prenant origine au niveau du rebord acétabulaire supéro-latéral.
- (c) Coupe coronale montrant le tendon direct issu de l'épine iliaque antéro-inférieure (flèche) et le tendon indirect (tête de flèche).
- (d) Coupe sagittale montrant le tendon direct issu de l'épine iliaque antéro-inférieure (flèche) et le ventre musculaire proximal du muscle droit fémoral (RF).

Ces structures apparaissent en hyposignal, correspondant à un aspect anatomique normal.

[64]

4.5 Radio-anatomie IRM normale du mollet

Le mollet est composé du gastrocnémien médial, du gastrocnémien latéral et du soléaire. En IRM, ces muscles présentent un signal homogène en T1, avec une séparation nette entre les chefs gastrocnémien et le soléaire.

Les jonctions myotendineuses, en particulier celle du gastrocnémien médial et les aponévroses du soléaire, sont clairement individualisées et apparaissent en hyposignal. La reconnaissance de cette radio-anatomie normale est essentielle pour différencier les lésions musculaires véritables des variations anatomiques ou des adaptations à l'effort [6,33,63].

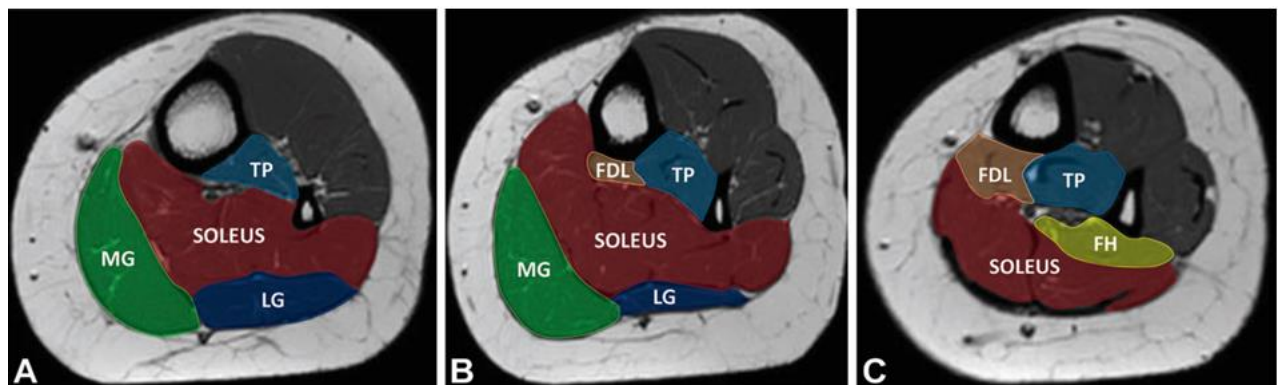


Figure 79 : Radio-anatomie IRM des muscles postérieurs de la jambe à différents niveaux.

Imagerie par résonance magnétique en séquence pondérée T1, en coupes axiales successives.

(A) Coupe axiale au tiers proximal de la jambe montrant le muscle tibial postérieur (TP, bleu clair), le muscle soléaire (rouge), ainsi que les chefs médial (MG, vert) et latéral (LG, bleu foncé) du gastrocnémien.

(B) Coupe axiale au tiers moyen de la jambe montrant le muscle tibial postérieur (TP, bleu clair), le muscle fléchisseur commun des orteils (FDL, orange), le muscle soléaire (rouge), et les chefs médial (MG) et latéral (LG) du gastrocnémien.

(C) Coupe axiale au tiers distal de la jambe montrant le muscle tibial postérieur (TP, bleu clair), le muscle fléchisseur commun des orteils (FDL, orange), le muscle fléchisseur propre de l'hallux (FH, jaune) et le muscle soléaire (rouge.)[65]

5. Indications de l'IRM chez le footballeur de haut niveau

Chez le footballeur de haut niveau, l'indication de l'IRM s'inscrit dans un contexte de forte exigence diagnostique, lié à la nécessité d'une prise en charge rapide, précise et sécurisée. Elle est indiquée devant une douleur musculaire aiguë survenant à l'effort lorsque

l'examen clinique ne permet pas de déterminer avec fiabilité la localisation exacte, l'étendue ou la sévérité de l'atteinte, situation fréquente dans cette population en raison de la douleur initiale, de l'œdème et des contraintes de calendrier compétitif [6,63].

L'IRM est particulièrement indiquée en cas de suspicion de lésions profondes, d'atteinte myotendineuse ou aponévrotique, ainsi que pour les lésions complexes ou étendues, dont l'identification précise conditionne directement la durée d'indisponibilité et la stratégie de réathlétisation chez le footballeur professionnel [2,52].

Elle trouve également sa place devant des douleurs persistantes, une évolution clinique atypique ou une récupération retardée, afin d'objectiver une lésion sous-estimée, d'identifier une complication ou d'ajuster la prise en charge et la décision de reprise sportive, enjeu majeur dans le football de haut niveau [4,61].

6. Images pièges en IRM

Chez le footballeur de haut niveau, l'interprétation des examens IRM des lésions musculaires doit tenir compte de plusieurs situations pouvant constituer des pièges diagnostiques. Ces pièges sont liés à la fois aux adaptations physiologiques induites par l'entraînement intensif, à la fréquence des lésions antérieures et aux limites intrinsèques de l'imagerie, et peuvent conduire à une surestimation de la gravité lésionnelle ou à des faux positifs [3,6,63].

Un premier piège fréquemment décrit correspond à l'hypersignal musculaire diffus observé sur les séquences sensibles à l'eau après un effort intense. Chez le footballeur professionnel, cet aspect peut traduire un phénomène d'adaptation ou de surcharge musculaire transitoire, sans rupture fibrillaire ni atteinte conjonctive associée. L'analyse de la topographie, du caractère diffus de l'hypersignal et la corrélation avec le contexte clinique permettent de le différencier d'une véritable lésion musculaire aiguë [3,4,52].

Les remaniements cicatriciels constituent une autre source classique de confusion. Ils peuvent persister sous forme de zones fibreuses ou d'irrégularités architecturales, parfois associées à un discret hypersignal résiduel, alors que la récupération clinique et fonctionnelle est complète. Chez le footballeur de haut niveau, la fréquence des antécédents musculaires

impose de ne pas interpréter ces images comme le signe d'une lésion active en l'absence de corrélation clinique[4,63].

Les variantes anatomiques normales, en particulier les tendons intramusculaires, les aponévroses et les jonctions myotendineuses, peuvent également être à l'origine d'erreurs d'interprétation. Une méconnaissance de la radio-anatomie normale peut conduire à confondre ces structures avec une rupture partielle, notamment au niveau des ischio-jambiers, du droit fémoral ou des adducteurs, muscles fréquemment atteints chez le footballeur professionnel [6,63].

Enfin, l'aspect des hématomes varie en fonction de leur stade évolutif, avec des signaux hétérogènes liés aux produits de dégradation sanguine. Une interprétation isolée, sans prise en compte du délai post-traumatique et de l'évolution clinique, peut conduire à une mauvaise estimation de l'ancienneté ou de la sévérité de la lésion [3,55].

Ainsi, chez le footballeur de haut niveau, l'identification des images pièges en IRM est essentielle afin de limiter les faux positifs et d'éviter des décisions thérapeutiques inadaptées. L'interprétation doit rester intégrée au contexte clinique, au mécanisme lésionnel et à l'évolution fonctionnelle du joueur [6,63].

VIII. IRM des lésions musculaires

1. Lésions élémentaires musculaires

Dans le cadre de l'analyse IRM des lésions musculaires traumatiques du membre inférieur chez le footballeur de haut niveau, les lésions élémentaires peuvent être définies selon une approche morphologique fondée sur l'interface muscle-tissu conjonctif atteinte. Cette conception, proposée dans les travaux récents en imagerie du sport, distingue les différents phénotypes lésionnels indépendamment du muscle concerné et de la localisation anatomique précise. Elle regroupe les déchirures tendineuses ou aponévrotiques, intéressant soit le tendon libre extra-musculaire, soit le tendon intramusculaire, les lésions de la jonction myoconjonctive, incluant les atteintes myotendineuses et myo-aponévrotiques, ainsi que les lésions myofasciales périphériques, avec ou sans rupture de l'épimysium. Chaque type correspond à des aspects IRM caractéristiques, allant de la simple discontinuité parenchymateuse avec tendon d'aspect continu à la diffusion liquidienne intermusculaire témoignant d'une brèche fasciale. Cette description élémentaire permet de caractériser la nature exacte de la défaillance du continuum muscle-tissu conjonctif et constitue une étape indispensable avant l'analyse de la répartition topographique des lésions et l'évaluation de leur impact fonctionnel [52].

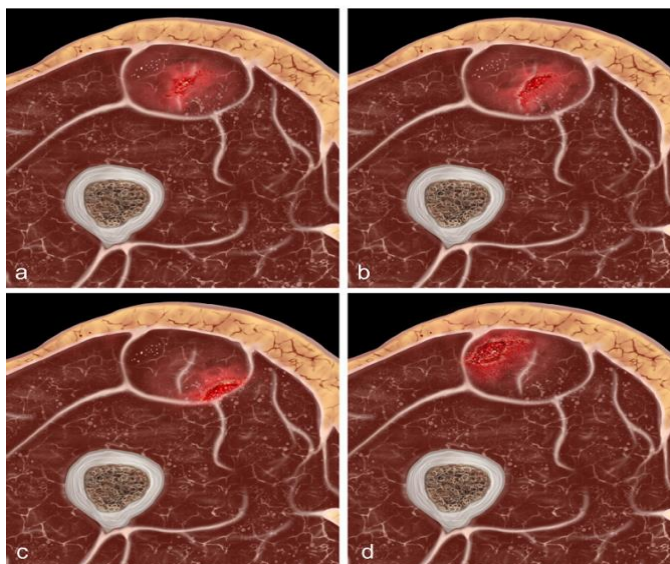


Figure 80 : Représentation schématique des principaux phénotypes de lésions musculaires traumatiques selon l'interface muscle-tissu conjonctif.

- a : déchirure tendineuse ou aponévrotique .
- b : lésion myotendineuse .
- c : lésion myofasciale .
- d : lésion intramusculaire.[52]

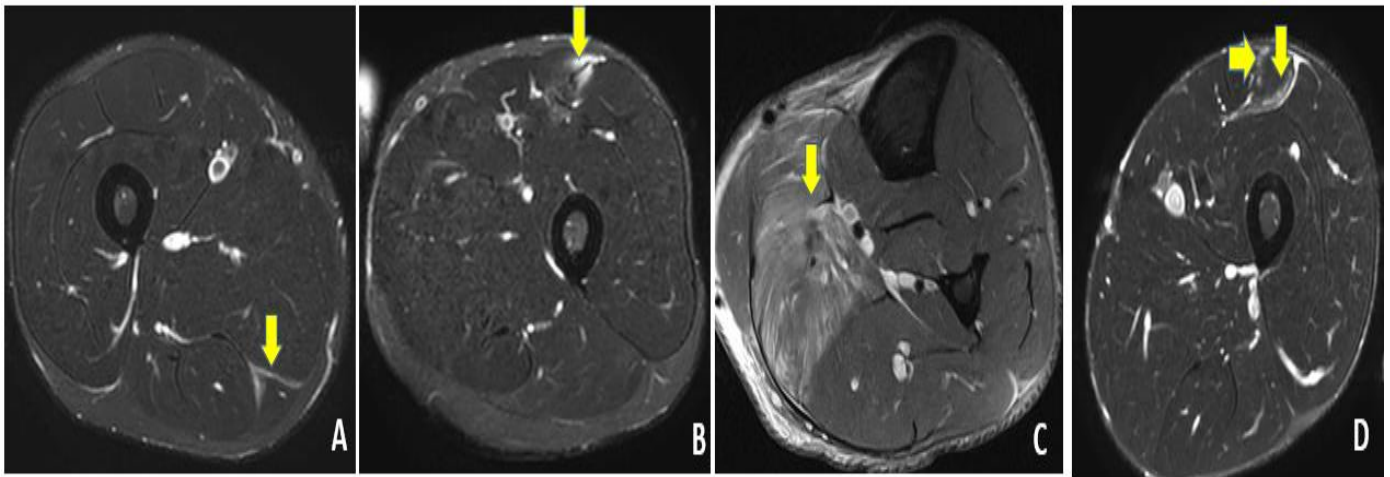


Figure 81 : Différents sièges lésionnels.

Coupes axiales T2 STIR (A, B et D) et T1 (C) :

- (A) : hypersignal T2 STIR de la cloison intermusculaire entre le semi-membraneux et le semi-tendineux (flèche).
- (B) : hypersignal T2 STIR de la cloison centrale du droit fémoral (flèche).
- (C) : hypersignal T1 de la cloison latérale du muscle soléaire (flèche).
- (D) : hypersignal T2 STIR de la cloison centrale et périphérique du droit fémoral (flèches).

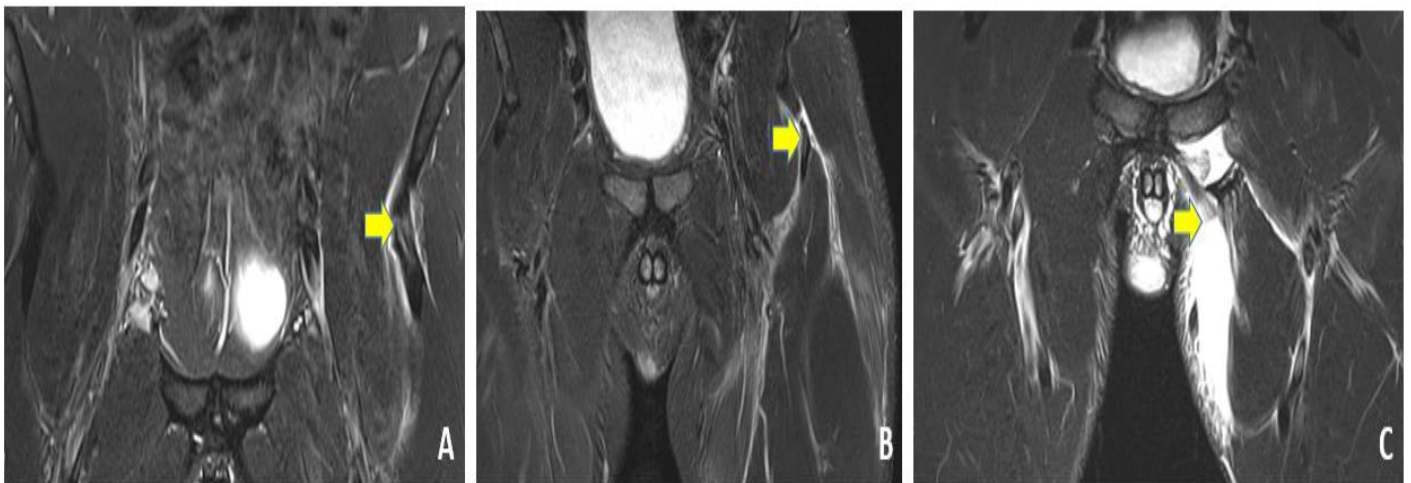


Figure 82 : Les types de lésions tendineuses.

Coupes coronales T2 STIR (A, B et C) :

- (A) : Épaississement du tendon (flèche).
- (B) : Lésion partielle (flèche).
- (C) : Lésion totale (flèche).

2. La topographie des lésions musculaires

L'analyse a été volontairement centrée sur les 22 joueurs présentant des anomalies objectivées en IRM, afin d'éviter les biais liés aux atteintes purement fonctionnelles ou infra-cliniques, non détectables en imagerie. Cette approche permet de se focaliser sur les lésions disposant d'un substrat morphologique objectivable, plus pertinentes pour l'analyse radiologique et la comparaison avec les séries IRM publiées. Bien que cet effectif soit limité, il peut être considéré comme représentatif des lésions musculaires à retentissement morphologique significatif chez les footballeurs de haut niveau.

Dans cet échantillon, les ischio-jambiers constituent le groupe musculaire le plus fréquemment atteint (31,8 %), suivis par les adducteurs (27,3 %) et le quadriceps (22,7 %). Les atteintes du mollet et des autres muscles restent plus marginales (9,1 % chacune), traduisant une hiérarchie relativement homogène entre les principaux groupes musculaires.

Nos résultats sont globalement concordants avec la littérature, qui décrit une prédominance des ischio-jambiers (environ 30–40 %), devant les adducteurs (20–30 %) et le quadriceps (15–25 %) [19,26,59], quel que soit le contexte géographique ou compétitif [8]. La proportion notable d'atteintes des adducteurs et du quadriceps observée dans notre série est également conforme aux données IRM récentes, confirmant leur rôle majeur dans les lésions musculaires du footballeur professionnel [27,28,46,57].

À l'inverse, les atteintes du mollet apparaissent moins fréquentes, comme rapporté dans la majorité des séries IRM où leur proportion reste généralement inférieure à 10–15 % [33,55]. Cette moindre représentation pourrait refléter des contraintes biomécaniques différentes ou un retentissement morphologique plus limité, moins souvent objectivé en imagerie.

Sur le plan interprétatif, la dominance des ischio-jambiers peut être expliquée par les contraintes mécaniques spécifiques du football moderne, notamment lors des phases de sprint, de décélération et de changements de direction, exposant ces muscles à des contraintes répétées, en particulier excentriques [41,44,49]. La constance de cette distribution à travers les études renforce la robustesse de ce schéma topographique.

Dans l'ensemble, notre étude confirme que la répartition des lésions musculaires observées en IRM chez les footballeurs de haut niveau suit un schéma relativement constant, dominé par les ischio-jambiers, puis par les adducteurs et le quadriceps.

Tableau 55 : Comparaison de la répartition des groupes musculaires atteints chez les footballeurs de haut niveau (IRM)

Auteur [réf]	Pays	Année	Ischio-jambiers	Adducteurs	Quadriceps	Mollet
Notre étude	Maroc	2025	31,8 %	27,3 %	22,7 %	9,1 %
Ekstrand et al. [1]	Europe	2011	30-40 %	20-25 %	15-20 %	< 10 %
Katagiri et al. [8]	Japon	2023	≈35 %	Fréquents	Fréquents	Peu fréquents
Isern-Kebschull et al. [19]	Europe	2020	≈35 %	≈25 %	≈20 %	< 10 %
Bucci et al. [27]	États-Unis	2020	≈34 %	≈23 %	≈21 %	< 10 %
Balius et al.[57]	Europe	2020	≈30-35 %	—	≈20-25 %	—

2.1. Répartition et caractéristiques des lésions musculaires au sein du groupe des ischio-jambiers

Notre étude révèle que, parmi les joueurs présentant une lésion structurelle des ischio-jambiers à l'IRM (n = 7), le long biceps fémoral constitue le muscle le plus fréquemment atteint.

Cette prédominance est en parfait accord avec les données de la littérature, où le long biceps représente environ 65 à 84 % des lésions des ischio-jambiers chez les footballeurs professionnels et les sportifs pratiquant des disciplines de sprint [1,25,27,44]. Ekstrand et al. rapportent ainsi une fréquence élevée des atteintes du long biceps dans les cohortes européennes, tandis que Bucci et al. retrouvent des proportions comparables chez des joueurs de Major League Soccer [1,27]. Cette vulnérabilité est classiquement expliquée par les particularités anatomiques et fonctionnelles de ce muscle bi-articulaire, doté d'une architecture complexe et d'un tendon proximal commun, fortement sollicité lors des phases de sprint, de freinage et de changement de direction, notamment en contraction excentrique en fin de phase oscillante de la course [41,44,49].

Le semi-membraneux apparaissait comme le second muscle le plus fréquemment impliqué dans notre cohorte. Cette observation est globalement cohérente avec la littérature,

où ce muscle est rapporté dans environ 11 à 21 % des lésions des ischio-jambiers [1,27]. Une fréquence légèrement plus élevée dans notre série pourrait traduire des mécanismes lésionnels spécifiques, notamment des situations d'étirement forcé ou des phases de décélération et de gestes défensifs, au cours desquelles le semi-membraneux, en raison de son architecture plus rigide et de ses insertions conjonctives complexes, présente une vulnérabilité particulière [24,25]. Les atteintes du court biceps et du semi-tendineux demeuraient quant à elles plus rares, ce qui est en adéquation avec les données publiées, confirmant leur implication moins fréquente au sein du groupe des ischio-jambiers chez les footballeurs de haut niveau [1,27].

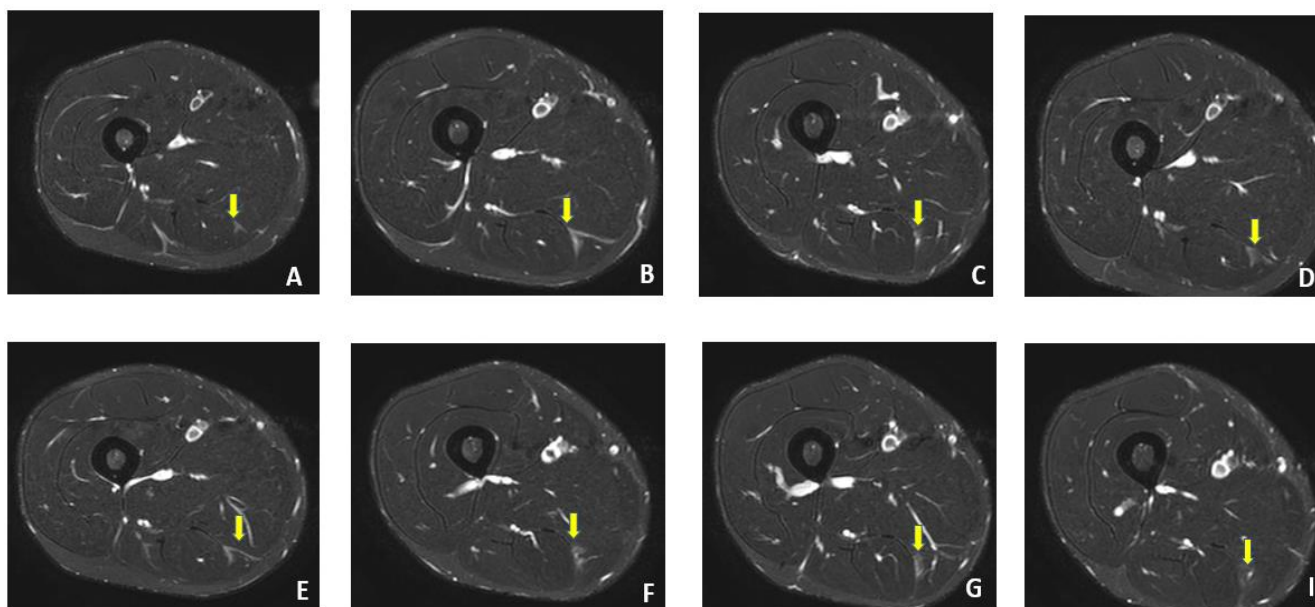
Sur le plan topographique et tissulaire, les lésions des ischio-jambiers observées dans notre étude intéressaient préférentiellement les structures de jonction, incluant les atteintes aponévrotiques, myo-aponévrotiques et les jonctions myotendineuses. Cette distribution est largement décrite dans les séries IRM récentes, qui soulignent le rôle central des interfaces myo-conjonctives dans la physiopathologie des lésions des ischio-jambiers [7,25,43]. Ces zones de transition, impliquées dans la transmission et la dissipation des forces entre les fibres musculaires et les structures tendineuses, constituent des régions de fragilité biomécanique, particulièrement exposées lors des sollicitations répétées et des variations brutales de charge caractéristiques du football de haut niveau.

À l'inverse, les atteintes tendineuses pures apparaissent moins fréquentes, comme rapporté dans la majorité des études IRM, où elles sont généralement associées à des mécanismes lésionnels spécifiques ou à des formes plus sévères, parfois corrélées à des délais de retour au jeu prolongés [4,21,22]. L'ensemble de ces éléments confirme que les lésions des ischio-jambiers ne doivent pas être envisagées comme des atteintes musculaires homogènes, mais comme des lésions complexes, impliquant préférentiellement les structures de jonction et les tissus conjonctifs.

Cette approche intégrée, rendue possible par l'IRM, constitue un élément fondamental pour la compréhension des mécanismes lésionnels et pour l'évaluation pronostique, qui sera développée ultérieurement dans le chapitre consacré au return to play.

Tableau 56 : Comparaison de la répartition musculaire et des sites lésionnels des lésions des ischio-jambiers en IRM.

Paramètre analysé	Notre étude (n = 7)	Ekstrand et al. [1]	Bucci et al. [27]	Linklater et al. [25]	Reurink et al. [4]
Long biceps fémoral	71,4 %	≈84 %	≈74 %	Majoritaire	Majoritaire
Semi-membraneux	28,6 %	≈11 %	≈21 %	Fréquent	Fréquent
Court biceps	14,3 %	Très rare	≈7 %	Rare	Rare
Semi-tendineux	14,3 %	≈5 %	≈14 %	Rare	Rare
Atteinte aponévrotique / myo-aponévrotique	50%	Non précisé	Non précisé	Fréquente	Fréquente
Jonction myo-tendineuse (JMT)	25 %	≈65 % (grades ≥ 2)	≈52 %	Site principal	Site principal
Atteinte tendineuse pure	18,8 %	Rare	Rare	Rare	Associée à formes sévères

**Figure 83 : Lésion inter-aponévrotique entre le semi-membraneux et le semi-tendineux.**

Séquences axiales T2 DP Fat Sat : épaissement homogène de l'aponévrose entre le semi-membraneux et le semi-tendineux, au niveau de son tiers moyen, en hypersignal T2, sans rétraction ni anomalie intramusculaire (flèches).

2.2. Répartition et caractéristiques des lésions musculaires au sein du groupe des adducteurs :

Notre étude met en évidence que, parmi les joueurs présentant une lésion structurale des adducteurs objectivée en IRM (n = 6), le long adducteur constitue le muscle le plus fréquemment atteint, avec une implication dans 66,7 % des cas. Cette prédominance est en

parfaite concordance avec les données de la littérature IRM, qui identifient de manière constante le long adducteur comme le principal muscle lésé au sein du groupe des adducteurs chez les footballeurs professionnels [1,19,30,32,66]. Dans leur étude dédiée aux lésions du long adducteur chez des joueurs professionnels, Pezzotta et al. rapportent que ce muscle concentre la grande majorité des lésions des adducteurs, confirmant son rôle central dans la pathologie musculaire inguinale du footballeur [66].

Les atteintes du court adducteur observées dans notre série demeurent marginales (16,7 %), ce qui est conforme aux séries publiées, où ce muscle est décrit comme moins fréquemment impliqué que le long adducteur, en raison de sa participation fonctionnelle plus limitée aux gestes explosifs du football [30,31,66]. L'absence de lésions du grand adducteur dans notre cohorte est également cohérente avec la littérature, qui rapporte que les atteintes isolées de ce muscle sont rares et souvent associées à des mécanismes spécifiques ou à des tableaux cliniques atypiques [31,67,68]. Les atteintes accessoires du gracile et du sartorius, chacune observée dans un cas, confirment leur implication occasionnelle, généralement secondaire à des mécanismes d'étirement ou à des contraintes indirectes plutôt qu'à des lésions primitives] [10,18].

Sur le plan topographique et tissulaire, l'analyse détaillée des sites lésionnels révèle une nette prédominance des atteintes aponévrotiques, fasciales et myo-aponévrotiques, représentant 50 % de l'ensemble des localisations. Cette distribution est largement décrite dans les études IRM consacrées aux adducteurs, qui soulignent la vulnérabilité particulière des structures conjonctives du long adducteur, notamment l'aponévrose horizontale et les cloisons conjonctives, soumises à d'importantes contraintes de cisaillement lors des contractions excentriques et des gestes explosifs [2,6,32,66]. Pezzotta et al. rapportent ainsi une prédominance des atteintes intéressant les interfaces myo-aponévrotiques et les structures conjonctives, au détriment des atteintes tendineuses pures [66].

Les atteintes musculaires, correspondant à 31,3 % des lésions, constituent le deuxième site lésionnel le plus fréquent dans notre série. Cette proportion est comparable à celle rapportée dans la littérature, où les lésions intramusculaires sont décrites comme fréquentes

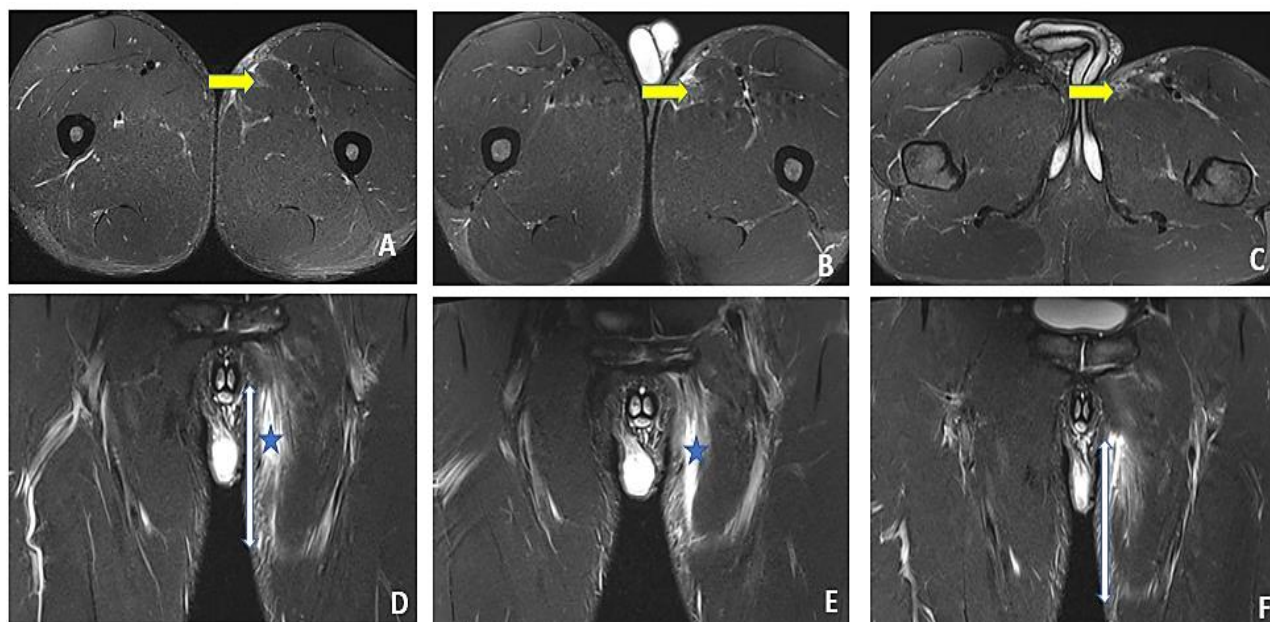
mais rarement isolées, souvent associées à un contexte d'étirement forcé ou de contraction violente lors des frappes de balle et des accélérations [19,30,66] . À l'inverse, les lésions de la jonction myotendineuse restent peu représentées (12,5 %), ce qui contraste avec la distribution observée pour les ischio-jambiers et souligne des contraintes biomécaniques spécifiques aux adducteurs.

Les atteintes tendineuses isolées apparaissent rares dans notre série (6,2 %). Cette faible fréquence est en accord avec les données récentes de la littérature, qui montrent que les lésions proximales du tendon du long adducteur sont peu fréquentes et rarement isolées. Schilders et al. ont en effet démontré que les avulsions proximales du long adducteur s'intègrent le plus souvent dans des lésions complexes impliquant le complexe pyramidalis-ligament pubien antérieur-long adducteur (PLAC), expliquant la rareté des atteintes tendineuses pures observées en IRM [67]. L'absence de lésions combinées ou complexes dans notre série pourrait traduire une prédominance de lésions de sévérité modérée ou une prise en charge diagnostique relativement précoce.

Dans l'ensemble, nos résultats confirment que les lésions des adducteurs chez les footballeurs de haut niveau sont dominées par les atteintes du long adducteur, intéressant préférentiellement les structures myoaponévrotiques et conjonctives, tandis que les atteintes musculaires pures et tendineuses restent secondaires. Cette distribution, concordante avec les séries IRM publiées, souligne le rôle central de l'IRM dans l'analyse fine des structures conjonctives des adducteurs, éléments déterminants pour l'évaluation pronostique et la prise en charge, qui seront développées ultérieurement dans le chapitre consacré au return to play.

Tableau 57 : Comparaison de la répartition musculaire et des sites lésionnels des adducteurs en IRM.

Paramètre analysé	Notre étude (n = 6)	Pezzotta et al. [66]	Weir et al. [32]	Schilders et al. [67]
Long adducteur	66,7 %	Majoritaire	Majoritaire	Majoritaire
Court adducteur	16,7 %	Rare	Rare	Rare
Grand adducteur	0 %	Très rare	Rare	Rare
Gracile / Sartorius	Occasionnel	Rare	Rare	Non précisé
Atteinte aponévrotique / myo-aponévrotique	50,0 %	Fréquente	Fréquente	Fréquente
Atteinte musculaire pure	31,3 %	Fréquente	Fréquente	Variable
Jonction myo-tendineuse	12,5 %	Peu fréquente	Peu fréquente	Peu fréquente
Atteinte tendineuse isolée	6,2 %	Rare	Rare	Rare / souvent associée (PLAC)

**Figure 84 : Lésion de la cloison horizontale et de la jonction myotendineuse du long adducteur.**

Séquences axiales (A, B et C) et coronales T2 STIR (D, E, F et G) : épaissement en hypersignal T2 hétérogène de la cloison horizontale (flèches jaunes), associé à un hypersignal myo-aponévrotique dont l'étendue ne dépasse pas 10 cm (flèches blanches), avec collection hématique modérée (étoiles).

2.3. Répartition et caractéristiques des lésions musculaires au sein du groupe des quadriceps

Notre étude met en évidence une atteinte exclusive du droit fémoral parmi les lésions structurelles du quadriceps identifiées à l'IRM, celui-ci étant impliqué dans 100 % des cas. Le vaste latéral était associé aux lésions du droit fémoral dans 40 % des cas, sans qu'aucune atteinte isolée de ce muscle ne soit observée. En revanche, aucune lésion du vaste médial ni du vaste intermédiaire n'a été retrouvée. Cette distribution souligne le rôle central du droit fémoral dans les lésions du quadriceps chez le footballeur de haut niveau.

Ces résultats sont en adéquation avec les données de la littérature, qui décrivent le droit fémoral comme le muscle le plus fréquemment lésé du groupe quadricipital, en raison de son caractère bi-articulaire, de son architecture complexe à double chef proximal (direct et indirect) et de son implication majeure dans les gestes explosifs du football, notamment le tir, le sprint et les accélérations [28,29,46,53]. Plusieurs séries rapportent que le droit fémoral concentre la majorité des lésions du quadriceps, tandis que les muscles vastes sont plus rarement atteints de façon isolée [28,29].

Sur le plan topographique, l'analyse détaillée des 18 sites lésionnels recensés dans notre série montre une prédominance des atteintes intéressant les fibres musculaires de la portion moyenne du droit fémoral ainsi que les structures aponévrotiques centrales et périphériques, confirmant la vulnérabilité particulière du tendon indirect et de l'aponévrose centrale. Cette observation est largement décrite dans les études IRM récentes, qui soulignent le rôle clé du tendon central du droit fémoral dans la physiopathologie et le pronostic des lésions quadricipitales [28,29,46].

Les atteintes tendineuses pures et les lésions de la jonction myotendineuse proximale représentaient une proportion plus limitée dans notre cohorte, mais correspondent à des formes reconnues comme potentiellement plus sévères, souvent associées à des délais de retour au jeu prolongés et à un risque accru de récurrence [28,46]. À l'inverse, les lésions myofasciales et aponévrotiques, bien que fréquentes, sont généralement considérées comme de meilleur pronostic lorsqu'elles n'intéressent pas le tendon central [29].

La répartition tissulaire observée dans notre étude confirme ainsi que les lésions du quadriceps ne constituent pas un ensemble homogène, mais relèvent d'atteintes variées impliquant préférentiellement les interfaces myoaponévrotiques et le tendon indirect du droit fémoral, structures soumises à des contraintes mécaniques importantes lors des phases excentriques de décélération et des mouvements balistiques propres au football [46,53].

L'ensemble de ces éléments renforce l'intérêt de l'IRM dans l'analyse précise des lésions du quadriceps, non seulement pour le diagnostic, mais également pour l'évaluation pronostique, en particulier lorsque les structures tendineuses centrales sont concernées. Ces aspects seront développés ultérieurement dans le chapitre consacré au return to play.

Tableau 58 : Comparaison de la répartition musculaire et des sites lésionnels des lésions du quadriceps en IRM.

Paramètre analysé	Notre étude	Plastow et al. [28]	Armstrong et al. [29]	Jokela et al. [46]
Droit fémoral	100 %	Majoritaire	Majoritaire	Majoritaire
Vaste latéral	40 % (associé)	Occasionnel	Occasionnel	Rare
Vaste médial	0 %	Rare	Rare	Rare
Vaste intermédiaire	0 %	Rare	Rare	Rare
Atteintes aponévrotiques / myo-aponévrotiques	50 %	Fréquentes	Fréquentes	Fréquentes
Fibres musculaires	22,2 %	Fréquentes	Fréquentes	Fréquentes
Jonction myo-tendineuse	11,1 %	Moins fréquente	Moins fréquente	Variable
Atteinte tendineuse pure	16,7 %	Associée aux formes sévères	Associée aux formes sévères	Associée aux formes sévères

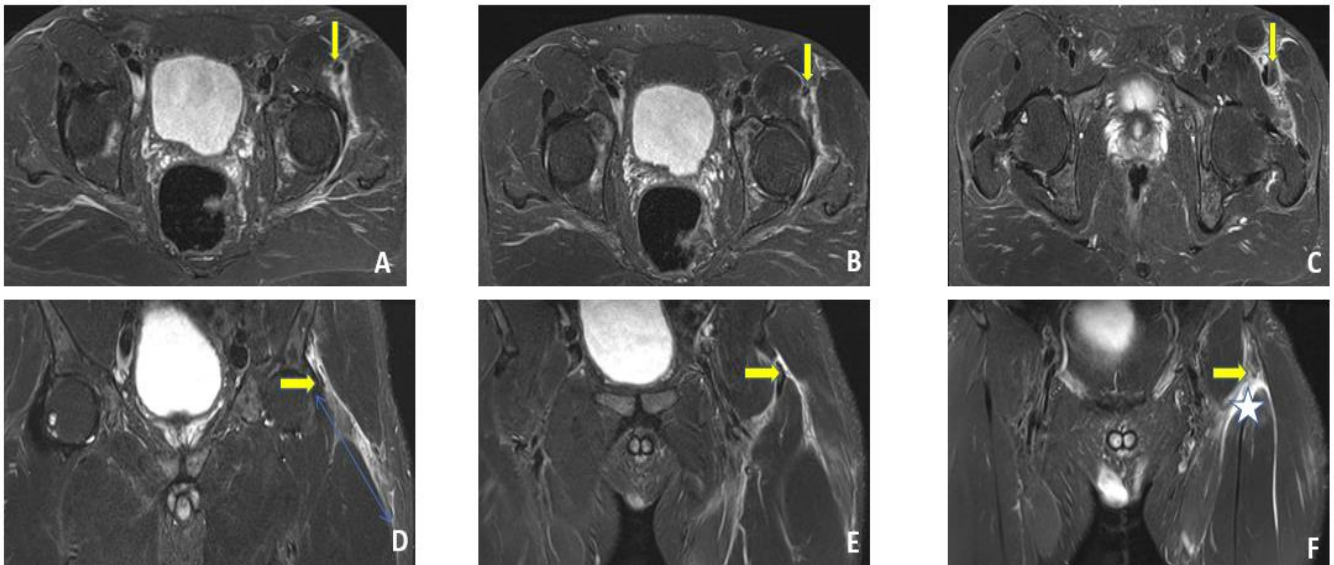


Figure 85 : Lésion du tendon direct et indirect du droit fémoral.

Séquences axiales et coronales T2 STIR (A, B, C, D, E et F) : rupture totale du tendon direct au niveau proximal (flèches jaunes), associée à une rupture partielle du tendon réfléchi en hypersignal T2 avec aspect désorganisé sur 80 mm (flèche bleue), et à une collection hématique péri-aponévrotique modérée (étoile).

2.4. Répartition et caractéristiques des lésions musculaires au sein du groupe des mollets

Dans notre série, les lésions structurelles du mollet objectivées en IRM concernaient deux joueurs ($n = 2$), représentant une proportion minoritaire de l'ensemble des lésions musculaires observées. Les muscles atteints étaient le soléaire et le plantaire grêle, chacun impliqué dans un cas, tandis qu'aucune lésion du gastrocnémien médial ou latéral n'a été identifiée.

Cette faible représentation des lésions du mollet est globalement conforme aux données de la littérature, qui rapportent une fréquence inférieure des atteintes du complexe tricipital sural par rapport aux muscles de la cuisse chez les footballeurs de haut niveau, généralement inférieure à 10-15 % des lésions musculaires [19,33,55]. Elle s'explique en partie par des contraintes biomécaniques spécifiques, le mollet étant davantage sollicité lors des phases de propulsion prolongée que lors des contractions excentriques explosives responsables des lésions aiguës des muscles bi-articulaires de la cuisse.

Toutefois, cette faible proportion de lésions du mollet identifiées en IRM doit être interprétée à la lumière des pratiques cliniques courantes dans le football de haut niveau. En

effet, chez le footballeur professionnel présentant une douleur du mollet, l'échographie constitue fréquemment l'examen de première intention, en raison de sa disponibilité immédiate en contexte club, de son caractère dynamique et de sa bonne performance diagnostique pour les lésions superficielles, en particulier celles du gastrocnémien. Dans ce contexte, l'IRM est le plus souvent réservée aux tableaux atypiques, profonds ou persistants, notamment en cas de suspicion d'atteinte du soléaire ou du plantaire grêle. Cette stratégie diagnostique peut ainsi conduire à une sous-représentation relative des lésions du mollet dans les séries reposant exclusivement sur l'IRM, comme c'est le cas dans notre étude.

Dans notre cohorte, l'atteinte du soléaire intéressait exclusivement des structures aponévrotiques et myo-aponévrotiques, incluant l'aponévrose latérale et le compartiment myo-aponévrotique. Cette distribution est cohérente avec les séries IRM décrivant une vulnérabilité préférentielle des interfaces conjonctives profondes du soléaire, liée à son architecture multi pennée et à son rôle stabilisateur prolongé lors de la course [33,55]. Ces lésions peuvent présenter une expression clinique fruste, expliquant leur diagnostic parfois retardé et la nécessité d'une imagerie en coupe.

L'atteinte du plantaire grêle, bien que rare, est décrite comme une entité spécifique du mollet, pouvant intéresser le tendon, la jonction myotendineuse ou les fibres musculaires, comme observé dans notre série [33,55]. Sa variabilité anatomique et son trajet long expliquent la diversité des sites lésionnels rapportés et la difficulté d'une identification clinique isolée.

L'absence de lésions du gastrocnémien médial et latéral dans notre cohorte contraste avec certaines séries IRM où ces muscles sont plus fréquemment impliqués, notamment dans le cadre du tennis leg [55]. Cette différence doit toutefois être interprétée avec prudence. Elle s'explique en premier lieu par le faible effectif de joueurs concernés dans notre étude ($n = 2$), limitant toute extrapolation statistique. Elle est également influencée par le recours fréquent à l'échographie pour l'exploration initiale des lésions du gastrocnémien en pratique footballistique, réduisant mécaniquement leur représentation dans les cohortes IRM. Enfin, les séries de la littérature regroupent souvent des populations sportives hétérogènes, alors que

notre étude est strictement centrée sur des footballeurs de haut niveau, dont les profils de sollicitation biomécanique peuvent différer.

Sur le plan tissulaire, la prédominance des atteintes aponévrotiques et myo-aponévrotiques observée dans notre étude confirme que les lésions du mollet intéressent préférentiellement les structures de transition et de transmission des forces. Dans ce contexte, l'IRM conserve un intérêt majeur pour la caractérisation précise des lésions profondes du soléaire et du plantaire grêle, en particulier dans des tableaux cliniques peu spécifiques ou d'évolution prolongée.

Tableau 59 : Comparaison de la répartition musculaire et tissulaire des lésions du mollet en IRM chez les footballeurs de haut niveau.

Paramètre analysé	Notre étude (n = 2 joueurs / 5 sites)	Balius et al. [33]	Flores et al. [55]	Isern-Kebschull et al. [19]
Soléaire	50 % des joueurs	Fréquent	Fréquent	Fréquent
Plantaire grêle	50 % des joueurs	Rare	Rare	Rare
Gastrocnémien médial	0 %	Fréquent	Fréquent	Variable
Gastrocnémien latéral	0 %	Moins fréquent	Moins fréquent	Variable
Atteintes aponévrotiques / myo-aponévrotiques	40 % des sites	Fréquentes	Fréquentes	Fréquentes
Fibres musculaires	20 % des sites	Fréquentes	Fréquentes	Fréquentes
Jonction myo-tendineuse	20 % des sites	Variable	Variable	Variable
Atteinte tendineuse pure	20 % des sites	Rare	Rare	Rare

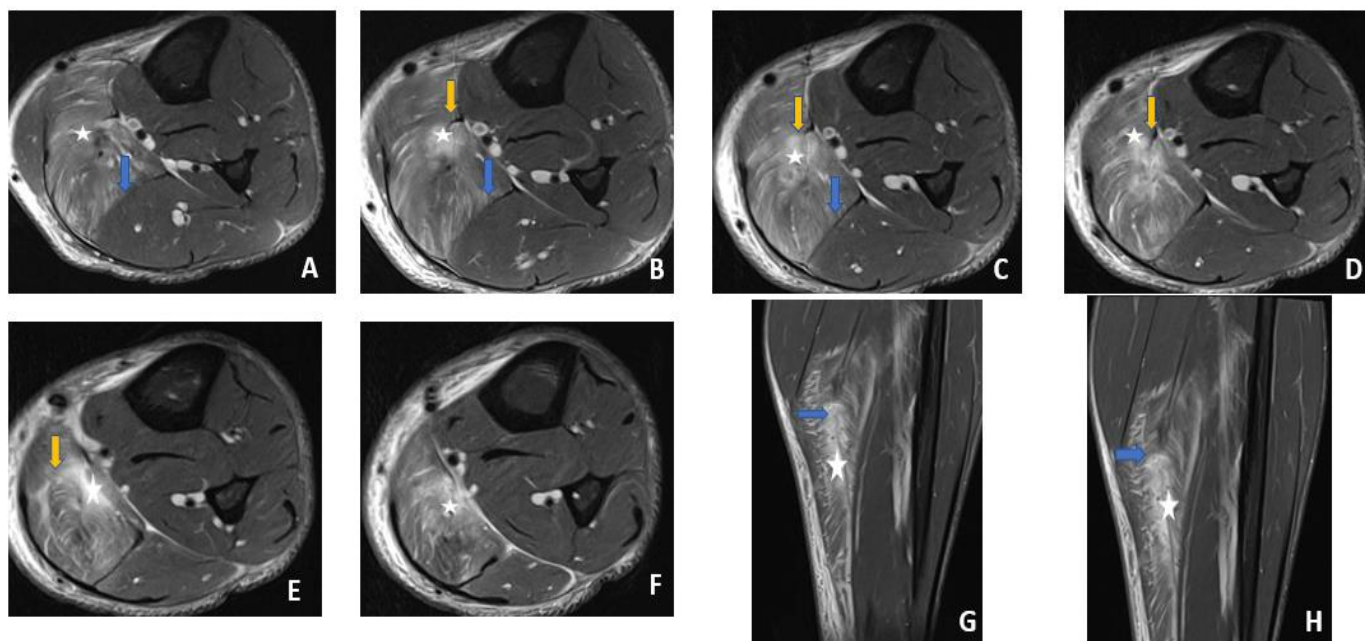


Figure 86 : Lésion aponévrotique et myo-aponévrotique du muscle soléaire.

Séquences axiales (A, B, C, D, E et F) et sagittales T1 (G et H) :

Rupture totale de la cloison médiane du soléaire et de l'aponévrose latérale au niveau de sa partie proximale et moyenne (flèches bleues et jaunes), avec petite collection hématique millimétrique, associée à un œdème musculaire adjacent avec quelques désinsertions myo-aponévrotiques en regard (étoiles).

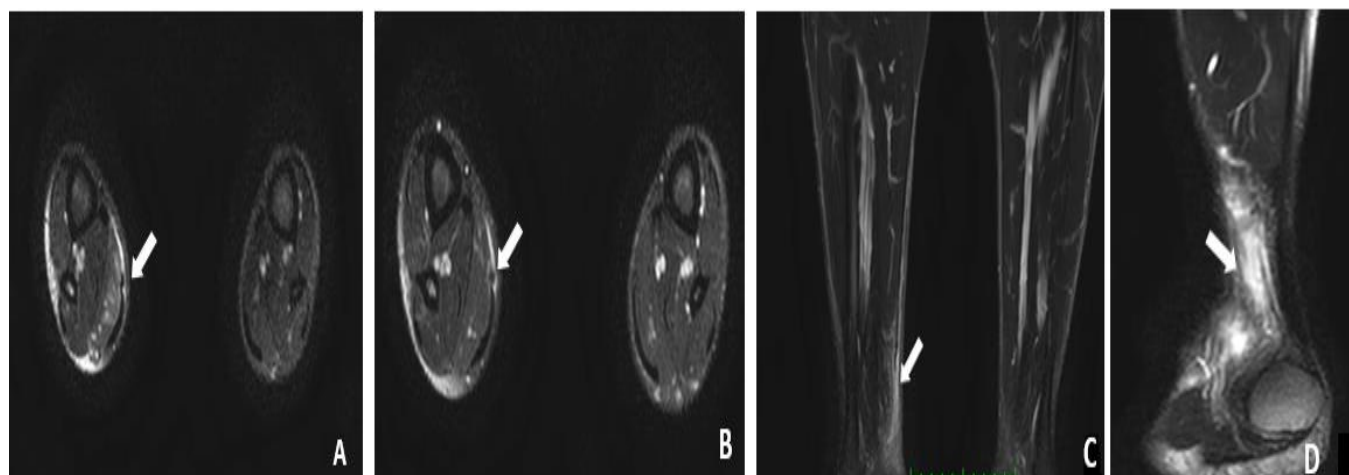


Figure 87 : Lésion partielle du tendon du muscle plantaire grêle droit.

Séquences axiales T2 STIR (A et B), coronale (C) et sagittale (D) des jambes :

Hypersignal T2 témoignant d'une rupture partielle du tendon du muscle plantaire grêle droit au niveau de son tiers inférieur, étendue sur 60 mm, avec désorganisation partielle de ses fibres (flèches).

2.5. Autres muscles

Dans notre série, les lésions structurelles regroupées dans la catégorie des « autres muscles » concernaient deux joueurs ($n = 2$), représentant une proportion marginale de l'ensemble des lésions musculaires observées. Les muscles atteints étaient l'ilio-psoas et le tenseur du fascia lata, chacun impliqué dans un cas, sans prédominance d'un muscle par rapport à l'autre.

La faible fréquence des lésions de ces muscles est conforme aux données de la littérature, dans lesquelles les atteintes de l'ilio-psoas et du tenseur du fascia lata sont rapportées comme rares chez les footballeurs de haut niveau, comparativement aux muscles de la cuisse et du mollet [19,26,55]. Ces muscles sont sollicités de manière plus spécifique, intervenant principalement dans les mouvements de flexion de hanche, de stabilisation pelvienne et de contrôle latéral, ce qui explique leur implication plus occasionnelle dans les lésions musculaires aiguës.

Sur le plan topographique, l'atteinte de l'ilio-psoas intéressait exclusivement la jonction myotendineuse, localisation classiquement décrite dans les lésions de ce muscle, en raison des contraintes importantes exercées lors des mouvements répétés de flexion rapide de hanche et des phases de frappe [19,55]. Les lésions du tenseur du fascia lata concernaient quant à elles les fibres musculaires et le plan myofascial, traduisant une atteinte des structures superficielles et de transmission des forces, en accord avec son rôle de tenseur de la bande ilio-tibiale et de stabilisateur latéral de la hanche [18,55].

Sur le plan tissulaire, la répartition équilibrée entre atteintes myo-aponévrotiques, musculaires pures et jonctionnelles observée dans notre série reflète la diversité des mécanismes lésionnels pouvant affecter ces muscles. L'absence d'atteinte tendineuse isolée est cohérente avec les séries IRM publiées, dans lesquelles les lésions tendineuses pures de l'ilio-psoas et du tenseur du fascia lata demeurent exceptionnelles chez le sportif [19,55].

Les légères différences observées entre notre série et les données de la littérature doivent être interprétées avec prudence, compte tenu du faible effectif concerné. Elles n'en remettent pas en cause la cohérence physiopathologique, mais soulignent plutôt le caractère

occasionnel et hétérogène des lésions de ces muscles, dont le diagnostic repose largement sur l'IRM en raison d'une symptomatologie clinique souvent peu spécifique.

3. Les structures anatomiques associées aux lésions structurelles

Dans notre série, les atteintes de structures anatomiques associées aux lésions musculaires structurelles objectivées à l'IRM demeuraient peu fréquentes, représentant 9,1 % des lésions (2 cas). Elles concernaient exclusivement le nerf sciatique et étaient observées uniquement dans le cadre des lésions des ischio-jambiers, tandis qu'aucune atteinte nerveuse associée n'a été identifiée dans les autres groupes musculaires.

Cette distribution apparaît cohérente avec les données de la littérature, qui rapportent que les atteintes nerveuses associées aux lésions musculaires sont rares chez le sportif, mais surviennent préférentiellement lors des lésions des ischio-jambiers, en raison de la proximité anatomique étroite entre le nerf sciatique et les structures myo-tendineuses postérieures de la cuisse. Des travaux d'imagerie, notamment ceux de Guerini et al. et Avrillon et al., ont montré que l'œdème inflammatoire, un hématome ou l'extension d'une atteinte myo-aponévrotique peuvent entraîner des phénomènes de compression ou d'irritation du nerf sciatique, expliquant l'association occasionnelle de signes neurologiques dans ce contexte lésionnel [6,7,25,55].

L'absence d'atteinte anatomique associée dans la majorité des cas observés dans notre étude est également conforme aux séries IRM publiées, qui décrivent les lésions musculaires structurelles du footballeur de haut niveau comme le plus souvent isolées, sans retentissement sur les structures adjacentes. Néanmoins, la littérature souligne l'intérêt d'une analyse systématique des éléments nerveux lors de l'exploration IRM des lésions des ischio-jambiers, compte tenu de l'impact clinique potentiel, bien que rare, d'une atteinte nerveuse associée.

Tableau 60 : Comparaison des atteintes nerveuses associées aux lésions musculaires structurelles en IRM chez le sportif.

Auteur	Pays	Année	Population étudiée	Muscle principalement concerné	Type d'atteinte nerveuse associée	Fréquence rapportée
Notre étude	Maroc	2025	Footballeurs de haut niveau	Ischio-jambiers	Nerf sciatique	9,1 % (2/22 lésions)
Guerini et al. [6]	France	2017	Sportifs (IRM)	Ischio-jambiers	Irritation / compression du nerf sciatique	Rare
Avrillon et al. [7]	France	2019	Sportifs	Jonction myo-tendineuse des ischio-jambiers	Atteinte nerveuse associée	Rare
Linklater et al. [25]	Australie	2010	Sportifs (IRM)	Ischio-jambiers	Conflit myo-nerveux sciatique	Peu fréquent
Flores et al. [55]	États-Unis	2018	Sportifs (revue IRM)	Cuisse postérieure	Irritation nerveuse secondaire	Exceptionnelle

4. Anomalies de signal IRM

L'analyse des anomalies de signal IRM dans notre série met en évidence une prédominance des hypersignaux T2, en accord avec les données de la littérature qui considèrent ce type de signal comme le marqueur le plus sensible des lésions musculaires aiguës, traduisant principalement un œdème interstitiel, une réaction inflammatoire et une désorganisation des fibres musculaires [3,6,55]. La proportion non négligeable d'examens présentant un signal IRM normal observée dans notre étude est également rapportée par plusieurs auteurs, notamment dans les contextes de douleurs musculaires fonctionnelles ou infracliniques, où l'IRM peut rester normale malgré une symptomatologie clinique évocatrice [3,19]. Cette variabilité des anomalies de signal s'explique par l'hétérogénéité des tableaux cliniques inclus et par la réalisation des examens à des stades évolutifs différents des lésions, éléments soulignés par la littérature comme des facteurs déterminants dans l'interprétation des images IRM.

La rareté des tableaux de type DOMS et l'absence d'hyposignal T2 dans notre population sont cohérentes avec les séries publiées, ces dernières étant le plus souvent associées à des phénomènes chroniques ou cicatriciels, peu représentés chez le footballeur

de haut niveau suivi de manière prospective [6,55]. Concernant les séquences pondérées en T1, la fréquence relativement élevée des hypersignaux observée dans notre série concorde avec les descriptions de lésions musculaires comportant une composante hémorragique ou des remaniements tissulaires subaigus, tandis que les hyposignaux T1, moins fréquents, correspondent le plus souvent à un œdème isolé sans hémorragie associée [6,55].

Dans l'ensemble, la répartition des anomalies de signal IRM observée dans notre étude apparaît comparable à celle rapportée dans les principales séries de la littérature, confirmant la place centrale des séquences pondérées en T2 dans le diagnostic des lésions musculaires du sportif et l'intérêt complémentaire des séquences T1 pour la caractérisation de la nature et de la sévérité des atteintes, à condition que ces anomalies soient interprétées en tenant compte du contexte clinique et du délai de réalisation de l'examen.

Tableau 61: Comparaison des anomalies de signal IRM dans les lésions musculaires du sportif.

Auteur	Pays	Année	Population étudiée	Hypersignal T2	Signal normal	Hypersignal T1 / hémorragique
Notre étude	Maroc	2025	Footballeurs de haut niveau	56,8 %	40,5 %	43,2 %
Germazi et al. [3]	International	2015	Sportifs	Majoritaire	Fréquent dans douleurs fonctionnelles	Fréquent selon sévérité
Guerini et al. [6]	France	2017	Sportifs	Très fréquent	Possible	Fréquent si hématome
Flores et al. [55]	États-Unis	2018	Sportifs (revue)	Marqueur principal	Possible	Associé aux lésions sévères
Isern-Kebschull et al. [19]	Europe	2020	Sportifs	Majoritaire	Non rare	Variable

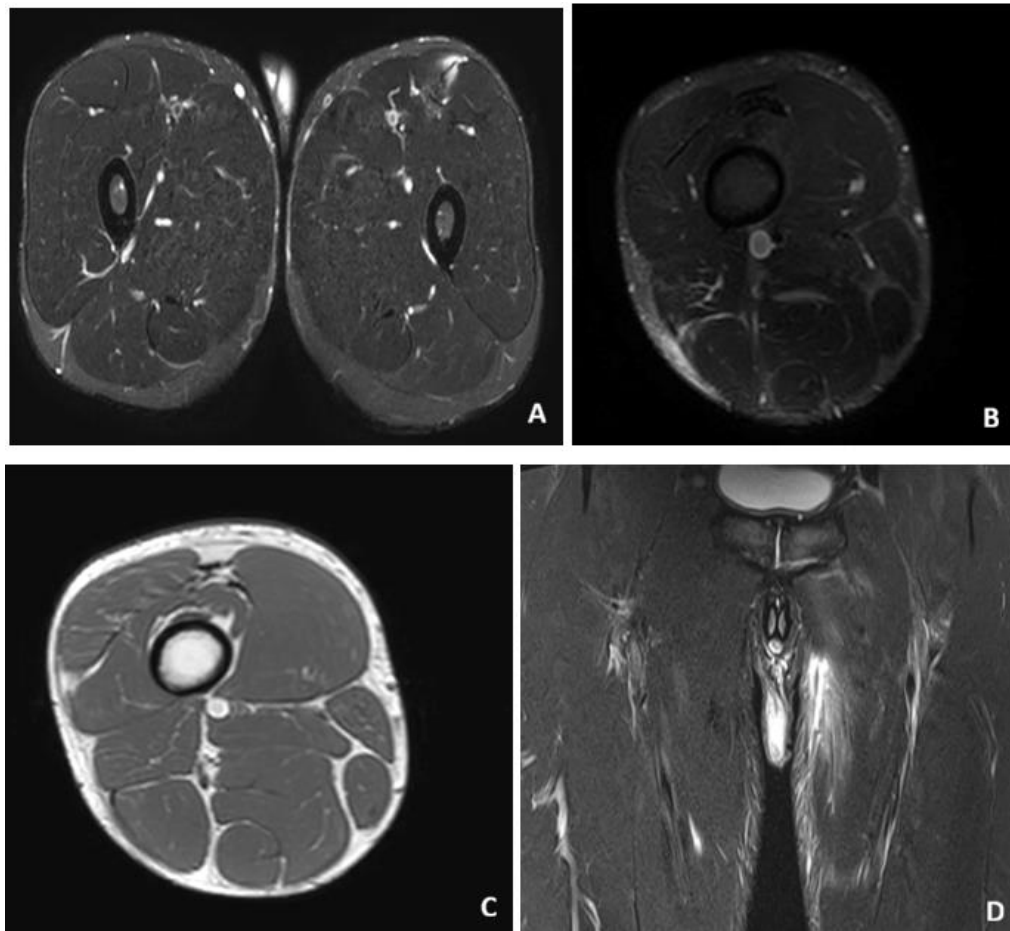


Figure 88 : Anomalie du signal d'une lésion musculaire.

Coupes axiales (A et B) et coronale (D) en T2 STIR, et coupe axiale T1 (C) :

(A) : hypersignal T2 de la cloison centrale du droit fémoral (flèche).

(B et C) : hypersignal T2 et hyposignal T1 de la jonction entre le chef long et le chef court du biceps fémoral (flèche).

(D) : hypersignal T2 myo-aponévrotique du long adducteur.

5. La désorganisation des fibres musculaires

Dans notre série, la désorganisation des fibres musculaires était observée chez 16 joueurs sur 22 présentant une lésion structurelle objectivée en IRM, soit 72,7 % des cas. Cette fréquence élevée traduit l'existence d'une atteinte morphologique musculaire objectivable, correspondant à une altération de l'architecture des faisceaux musculaires visible en imagerie.

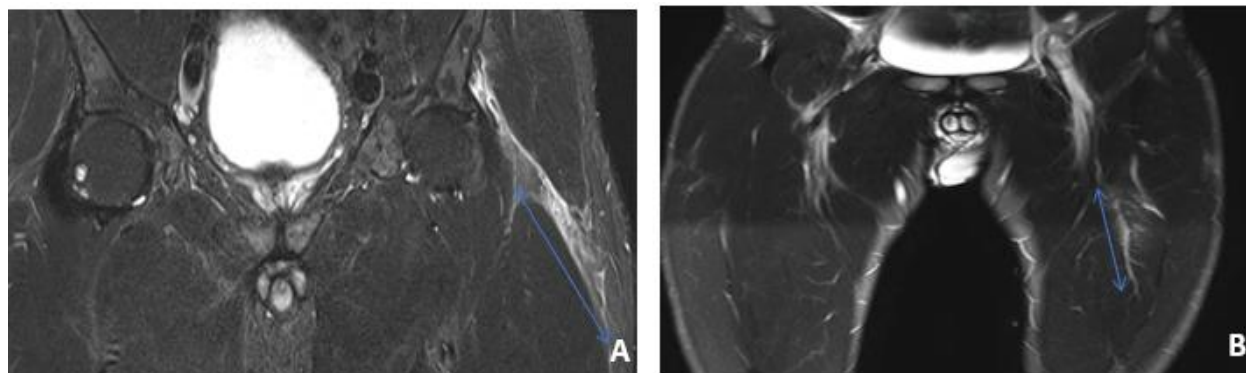
Cette proportion est globalement concordante avec les données de la littérature, qui décrivent la désorganisation des fibres musculaires comme un critère sémiologique majeur des lésions musculaires structurelles, permettant de distinguer les lésions de faible grade des atteintes plus sévères avec rupture partielle des fibres ou extension myo-aponévrotique [3,6,55]. Des auteurs tels que Guermazi et Guerini soulignent que l'association d'un hypersignal T2 à une désorganisation fibreuse est fréquemment observée dans les lésions de grade intermédiaire à élever, notamment lorsqu'il existe une atteinte conjonctive associée [3,6].

À l'inverse, l'absence de désorganisation fibreuse, retrouvée dans 27,3 % des cas de notre série, peut s'expliquer par la réalisation de l'IRM à des stades précoces de la lésion, mais également par la présence de lésions de faible grade, incluant des tableaux de type DOMS, considérés comme des lésions structurelles dans notre protocole. La littérature rapporte en effet que ces atteintes débutantes ou peu sévères peuvent se traduire par un hypersignal T2 isolé, sans altération architecturale visible des fibres musculaires [6,55].

Ainsi, nos résultats confirment la valeur sémiologique de la désorganisation des fibres musculaires pour caractériser la sévérité des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau, tout en soulignant la nécessité d'une interprétation intégrée tenant compte du grade lésionnel et du délai de réalisation de l'examen IRM.

Tableau 62 : Comparaison de la désorganisation des fibres musculaires en IRM dans les lésions musculaires du sportif.

Auteur	Pays	Année	Population étudiée	Désorganisation des fibres musculaires
Notre étude	Maroc	2025	Footballeurs de haut niveau	72,7 %
Guermazi et al. [3]	International	2015	Sportifs	Fréquente
Guerini et al. [6]	France	2017	Sportifs	Majoritaire
Flores et al. [55]	États-Unis	2018	Sportifs (revue)	Marqueur structurel
Isern-Kebschull et al. [19]	Europe	2020	Sportifs	Variable selon le grade

**Figure 89 : Aspect IRM d'une désorganisation musculaire.**

Coupes coronales T2 STIR (A et B) :

(A) : hypersignal T2 STIR du tendon réfléchi, avec aspect désorganisé sur 80 mm (flèche).

(B) : désorganisation du droit fémoral sur 30 mm, en hypersignal T2 (flèche).

6. Anomalies lésionnelles en IRM

Dans notre série de 22 joueurs présentant une lésion musculaire structurelle objectivée à l'IRM, les anomalies lésionnelles les plus fréquemment observées étaient l'hématome, retrouvé dans 72,7 % des cas, suivi des ruptures partielles (68,2 %) et de l'épaississement aponévrotique ou des cloisons conjonctives (59,1 %). Cette prédominance des atteintes hémorragiques et des lésions partielles est en accord avec la littérature, qui décrit ces anomalies comme les manifestations IRM les plus courantes des lésions musculaires aiguës chez le footballeur de haut niveau [3,6,55].

La fréquence élevée des épaisissements aponévrotiques et des atteintes des cloisons conjonctives confirme le rôle central du tissu conjonctif dans la physiopathologie des lésions musculaires, ces structures constituant des zones de fragilité biomécanique lors des contraintes excentriques répétées [6,7,43]. De même, les collections péri-aponévrotiques, observées dans la moitié des cas, sont classiquement décrites comme associées aux lésions myo-aponévrotiques et traduisent une diffusion liquidienne le long des plans conjonctifs [55].

À l'inverse, le décollement inter-aponévrotique, observé dans 27,3 % des cas, ainsi que les anomalies plus sévères telles que la rupture totale, la rétraction musculaire ou l'avulsion, demeuraient peu fréquentes dans notre cohorte. Cette distribution est conforme aux séries IRM publiées, qui rapportent que les lésions complètes et les avulsions représentent une minorité des lésions musculaires chez le sportif, étant généralement associées à des mécanismes lésionnels violents et à des délais de retour au jeu prolongés [3,6,46,55].

Ainsi, la répartition des anomalies lésionnelles observée dans notre étude reflète majoritairement un spectre de lésions de sévérité intermédiaire, dominé par les ruptures partielles et les atteintes conjonctives, ce qui est cohérent avec une population de footballeurs de haut niveau suivis prospectivement et explorés précocement en IRM.

Tableau 63 : Comparaison de la répartition des anomalies lésionnelles en IRM avec la littérature.

Auteur	Pays	Année	Population étudiée	Anomalies lésionnelles dominantes
Notre étude	Maroc	2025	Footballeurs de haut niveau	Hématome, rupture partielle, atteinte aponévrotique
Guermazi et al.[3]	International	2015	Sportifs	Ruptures partielles, hématomes
Guerini et al. [6]	France	2017	Sportifs	Atteintes myo-aponévrotiques fréquentes
Flores et al. [55]	États-Unis	2018	Revue IRM	Hématome et lésions conjonctives prédominantes
Jokela et al. [46]	Europe	2023	Footballeurs professionnels	Ruptures partielles majoritaires

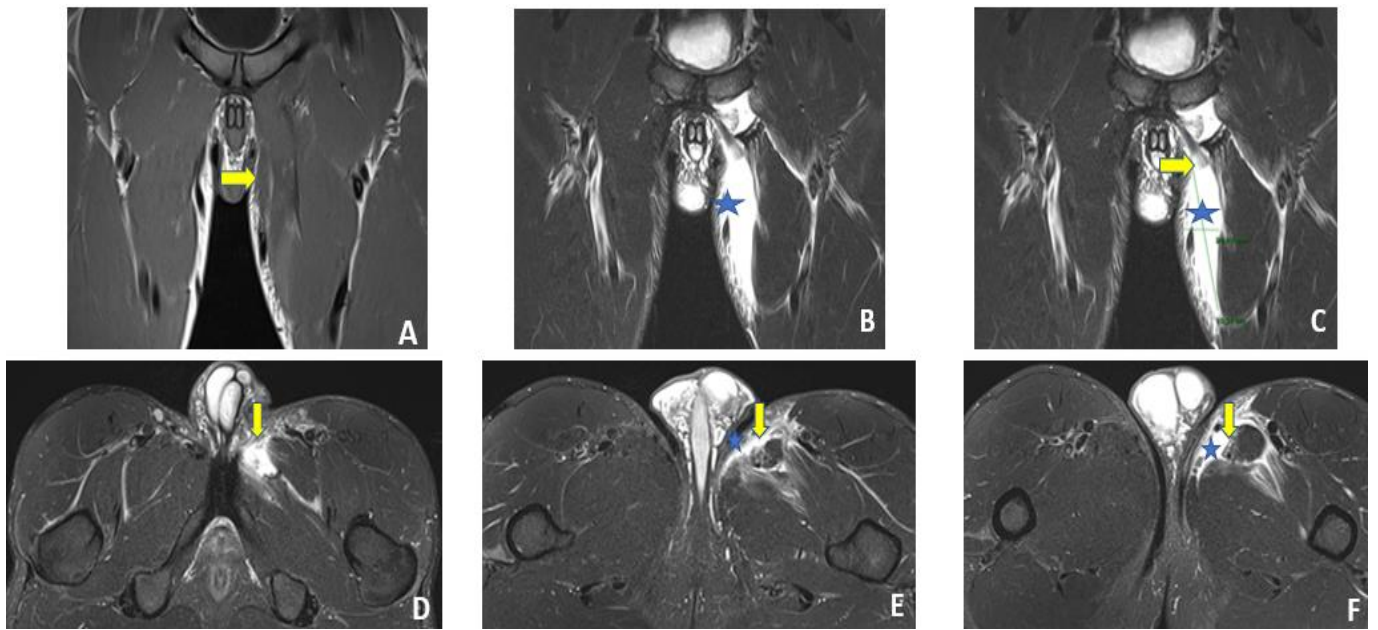


Figure 90 : Aspect IRM du signal d'un hématome.

Séquences axiales et coronales T2 STIR (B, C, D, E et F), coronale T1 (A) :

hématome en hypersignal T2 franc et hypersignal T1 (étoiles), associée à une

Rupture totale avec avulsion et rétraction tendineuse (flèches jaunes).

7. Estimation de la taille des lésions musculaires

Dans notre étude, l'analyse de la taille des lésions musculaires en IRM met en évidence une prédominance de lésions d'extension intermédiaire, tant sur le plan transversal que longitudinal. Sur le plan transversal, les lésions intéressant 10 à 50 % de la section musculaire constituaient la catégorie la plus fréquente, tandis que les atteintes étendues dépassant 50 % de la section et les lésions limitées à moins de 10 % étaient moins représentées. Sur le plan longitudinal, les lésions mesurant entre 5 et 10 cm représentaient également la catégorie prédominante, devant les atteintes plus courtes ou plus longues.

Cette distribution est globalement concordante avec les données de la littérature, qui décrivent une majorité de lésions musculaires sportives intéressant une portion intermédiaire du muscle, les atteintes très limitées ou très étendues étant moins fréquentes dans les séries

IRM centrées sur les lésions structurelles. Plusieurs études ont montré que l'extension de la lésion, qu'elle soit évaluée en largeur ou en longueur, constitue un élément important de caractérisation de la sévérité lésionnelle, les atteintes plus étendues étant plus souvent associées à une atteinte conjonctive et à la présence d'un hématome [3,6,55,61].

La proportion non négligeable de lésions étendues observée dans notre série peut s'expliquer par le choix méthodologique d'inclure exclusivement des lésions structurelles objectivées en IRM, excluant les atteintes infracliniques, ainsi que par la réalisation relativement précoce de l'examen, permettant une appréciation plus précise de l'extension réelle des lésions. Ainsi, l'évaluation combinée des dimensions transversales et longitudinales apparaît comme une base essentielle pour l'analyse de la sévérité des lésions musculaires et pour l'application des classifications IRM, qui seront développées dans le chapitre suivant.

Tableau 64 : Comparaison de l'extension des lésions musculaires en IRM avec la littérature.

Auteur	Pays	Année	Population étudiée	Section transversale atteinte	Extension longitudinale
Notre étude	Maroc	2025	Footballeurs de haut niveau	Majoritairement 10–50 %	Majoritairement 5–10 cm
Germazi et al. [3]	International	2015	Sportifs	Intermédiaire à étendue	Intermédiaire
Pedret et al. [61]	Europe	2015	Footballeurs	Intermédiaire à large	Corrélée à la sévérité
Guerini et al. [6]	France	2017	Sportifs	Variable, souvent >10 %	Variable
Flores et al. [55]	États-Unis	2018	Revue IRM	Étendue variable	Propagation longitudinale fréquente

8. Classifications des lésions musculaires

8.1. Classification physio-pathologique des lésions musculaires (Rodineau–Durey)

Historiquement, la première approche structurée des lésions musculaires en médecine du sport repose sur une classification physio–pathologique, classiquement décrite par Rodineau et Durey. Cette classification s'appuie sur le mécanisme lésionnel et la réponse tissulaire musculaire, et décrit un continuum de gravité allant de l'élongation musculaire, correspondant à une atteinte fonctionnelle sans rupture architecturale, au claquage et à la déchirure musculaire, traduisant une atteinte structurelle progressive des fibres musculaires et du tissu conjonctif.

Bien que fondée essentiellement sur des critères cliniques et évolutifs, cette classification introduit une lecture physio–pathologique toujours pertinente, en opposant lésions sans désorganisation morphologique aux lésions avec rupture fibreuse et/ou conjonctive. Elle a longtemps constitué le socle du raisonnement diagnostique et pronostique chez le sportif avant l'essor de l'imagerie moderne.

Les différents stades de cette classification physio–pathologique sont résumés dans le tableau ci-dessous, qui en synthétise les principes et les caractéristiques principales. L'avènement de l'IRM a ensuite permis d'objectiver ces concepts en visualisant directement l'atteinte musculaire et conjonctive, constituant la base des classifications morphologiques modernes utilisées chez le footballeur de haut niveau [53].

Tableau 65 : Classification physio–pathologique des lésions musculaires (Rodineau–Durey).

Type de lésion	Définition	Caractéristiques physio–pathologiques
Élongation musculaire	Atteinte fonctionnelle sans rupture	Étirement excessif du muscle sans désorganisation architecturale ; douleur modérée, impotence fonctionnelle limitée
Claquage musculaire	Lésion intermédiaire	Rupture partielle des fibres musculaires et/ou du tissu conjonctif ; douleur brutale, déficit fonctionnel variable
Déchirure musculaire	Lésion structurelle sévère	Rupture franche et étendue des fibres musculaires et du tissu conjonctif, souvent associée à un hématome et à une impotence fonctionnelle marquée

8.2. Classifications IRM des lésions musculaires (n = 37)

L'intérêt d'une classification IRM dans les lésions musculaires du footballeur de haut niveau est double : standardiser le compte rendu (langage commun radiologue-médecin-kinésithérapeute) et hiérarchiser des profils lésionnels susceptibles d'influencer la prise en charge, en particulier lorsque le tissu conjonctif (aponévrose/tendon intramusculaire) est atteint [63]. Néanmoins, la littérature souligne que la capacité des grades IRM à prédire isolément le délai de retour au jeu reste imparfaite et dépend d'une approche multifactorielle (clinique, fonctionnelle, contexte de charge) [9].

Afin de synthétiser les principes, les critères morphologiques et la granularité des différents systèmes de classification utilisés, un tableau comparatif des classifications IRM et échographiques retenues est présenté ci-dessous.

Tableau 66 : Comparaison des principaux systèmes de classification des lésions musculaires utilisés dans notre étude.

Système de classification	Sévérité	Site anatomique	Classification finale
British Athletics Muscle Injury Classification (BAMIC – IRM)	Grade 0 : IRM négative	a. Myofascial b. Myotendineux c. Intratendineux	0a / 0b : IRM normale / IRM normale ou hypersignal diffus non spécifique
	Grade 1 : lésions mineures		1a : hypersignal fascial avec extension < 10 % du ventre musculaire ; longueur CC < 5 cm
			1b : hypersignal < 10 % de la CSA au niveau de la jonction myotendineuse ; longueur CC < 5 cm
	Grade 2 : lésions modérées		2a : atteinte myofasciale, CSA 10–50 %, longueur CC 5–15 cm
			2b : atteinte myotendineuse, CSA 10–50 %, longueur CC 5–15 cm
			2c : atteinte intratendineuse < 5 cm, CSA < 50 %, sans perte de tension
	Grade 3 : lésions étendues		3a : myofasciale, CSA > 50 %, longueur CC > 15 cm
			3b : myotendineuse, CSA > 50 %, longueur CC > 15 cm

IRM des lésions musculaires du membre inférieur chez les footballeurs de haut niveau

			3c : intratendineuse > 5 cm, CSA > 50 %, possible perte de tension
	Grade 4 : rupture complète		4 : rupture musculaire complète avec rétraction 4c : rupture tendineuse complète avec rétraction
Petersons modifiée (IRM)	Grade 0 : absence de lésion	—	Grade 0 : IRM normale
	Grade 1 : lésion minimale	—	Grade 1 : œdème musculaire sans désorganisation architecturale
	Grade 2 : lésion partielle	—	Grade 2 : œdème avec désorganisation architecturale, déchirure partielle
	Grade 3 : lésion sévère	—	Grade 3 : rupture musculaire complète (± atteinte tendineuse)
INSEP (classification échographique)	Grade 0 : absence de lésion	M / C	0M / 0C : muscle ou tissu conjonctif normal
	Grade 1 : atteinte minimale	M / C	1M : épaissement musculaire sans désorganisation 1C : épaissement conjonctif sans rupture
	Grade 2 : rupture partielle	M / C	2M : rupture musculaire partielle 2C : rupture conjonctive sans collection
	Grade 3 : lésion compliquée	M / C	3M : collection intramusculaire 3C : collection avec désinsertion conjonctive sans rétraction
	Grade 4 : lésion sévère	M / C	4 : rupture musculaire ou conjonctive avec rétraction
FC Barcelone – Aspetar – Duke (IRM)	Type 1 : lésion non structurelle	Muscle	1a : œdème localisé sans lésion structurelle 1b : œdème diffus sans désinsertion
	Type 2 : lésion structurelle partielle	Myo-aponévrotique	2a : déchirure myo-aponévrotique limitée 2b : déchirure myo-aponévrotique étendue
	Type 3 : lésion sévère	Muscle	3a : déchirure avec rétraction < 5 cm 3b : déchirure avec rétraction ≥ 5 cm
	Type 4 : lésion complète	Muscle / tendon	Type 4 : rupture musculaire ou tendineuse complète

CC : longueur crânio-caudale **CSA** : surface de section transversale ;

HSC : hypersignal sur les séquences sensibles à l'eau ;

M (INSEP) : atteinte musculaire ; **C (INSEP)** : atteinte conjonctive (aponévrose, fascia) ;

Myofascial / myotendineux / intratendineux : localisation anatomique de la lésion

8.2.1 Classification British Athletics (UK Athletics)

Dans notre série, l'application de la classification British Athletics montre une majorité de lésions légères (grades 0 à 1a : 56,8%), dominées par les grades 0 (40,5%). Cette distribution traduit un volume important de tableaux IRM négatifs ou pauci-structuraux, situation bien reconnue chez le sportif, où les symptômes peuvent précéder ou rester dissociés d'une rupture objectivable [55,63]. Sur le plan interprétatif, cela justifie de ne pas réduire la décision médico-sportive à l'existence d'une désorganisation architecturale visible, e de maintenir une corrélation clinique stricte.

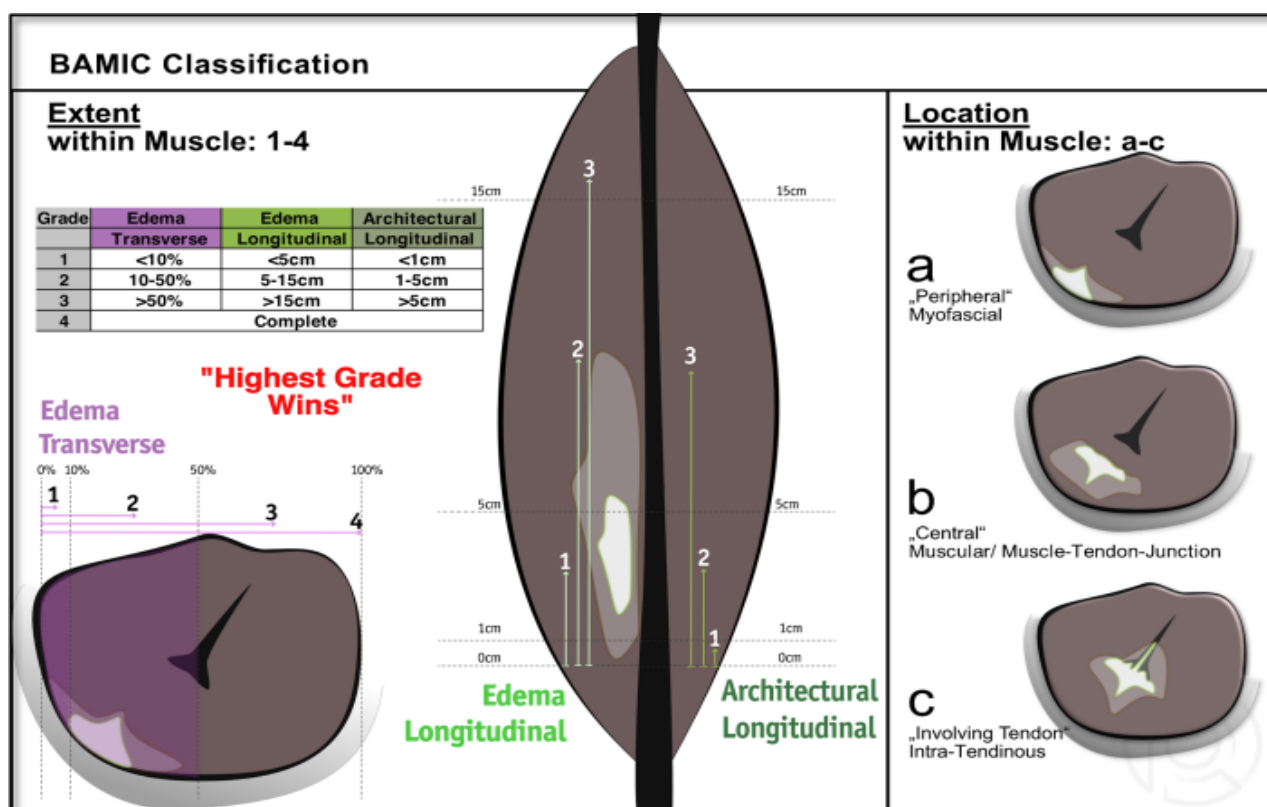


Figure 91 : Schéma explicatif de la classification Athlétisme Britannique (British Athletics Muscle Injury Classification, BAMIC).

Le schéma illustre les critères de gradation des lésions musculaires en IRM selon l'étendue transversale et longitudinale de l'œdème et de la désorganisation architecturale, ainsi que la localisation de la lésion au sein du muscle : myofasciale (a), myotendineuse centrale (b) ou intratendineuse (c).

La règle du « grade le plus élevé retenu » (« highest grade wins ») est représentée, le grade final correspondant au critère lésionnel le plus sévère observé.[69].

L'apport spécifique de la British Athletics dans notre travail est surtout la stratification morphologique par suffixe (a = myofascial, b = myotendineux, c = intratendineux) et la mise

en évidence d'un sous-groupe non négligeable d'atteintes « c ». En regroupant les grades comportant une atteinte intratendineuse (2c, 3c, 4c), 21,6% (8/37) de nos lésions relèvent d'un phénotype « c », proportion qui n'est pas marginale dans une population d'élite. Or, la logique de cette classification repose précisément sur l'idée que l'atteinte tendineuse/intratendineuse a une valeur pronostique potentielle supérieure à la simple extension de l'œdème [68], ce qui est cohérent avec les synthèses insistant sur l'importance du tissu conjonctif dans le pronostic fonctionnel [63].

Enfin, un point méthodologique doit être discuté : plus une classification est détaillée, plus sa reproductibilité devient un enjeu. Les travaux comparatifs de concordance inter-lecteurs montrent des accords seulement modérés pour certaines classifications et des performances variables selon la localisation (cuisse vs jambe) [70]. Ceci impose, dans la pratique, un effort de standardisation du protocole IRM, des critères de lecture et, si possible, une lecture experte en contexte sportif [6,63].

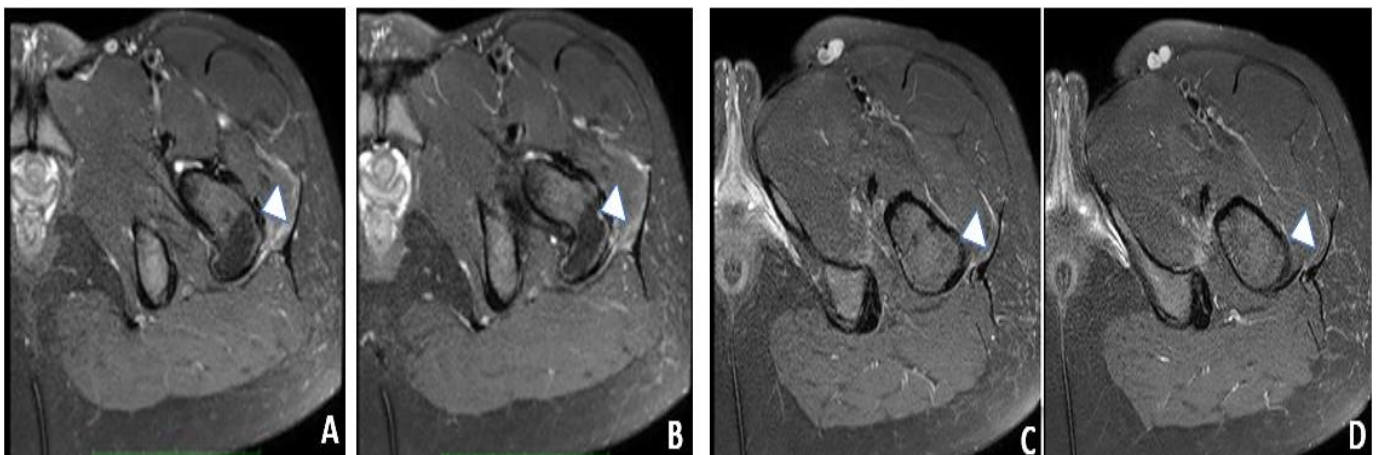


Figure 92 : Lésion myo-aponévrotique du fascia lata classée BAMIC 1a.

Séquences axiales T2 STIR (A, B, C et D) :

Épaississement de l'aponévrose et des fibres conjonctives du muscle fascia lata en discret hypersignal T2 (têtes de flèche).

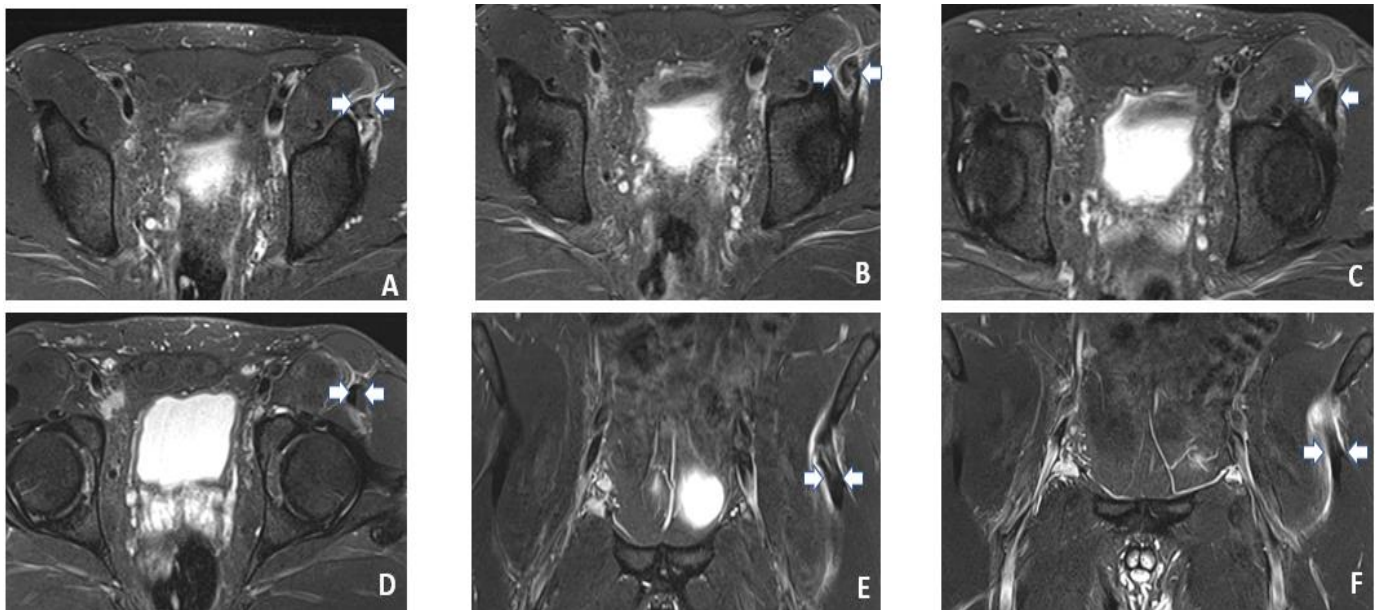


Figure 93 : Lésion du tendon direct et réfléchi du droit fémoral classée BAMIC 2c.

Séquences axiales (A, B, C et D) et coronales T2 STIR :

Épaississement des deux tendons en hypersignal T2, étendu sur 60 mm, sans hématome ni signe de rupture (flèches).

8.2.2 Classification de Peetrans modifiée

La classification de Peetrans modifiée, plus simple (grades 0 à 3), retrouve dans notre série une prédominance de formes grade 0 (43,2%) et, à l'opposé, une proportion notable de lésions grades 2-3 (43,2%). Ce profil bipolaire met en évidence l'hétérogénéité de présentation des joueurs adressés en imagerie : d'une part des tableaux cliniques sans substrat morphologique évident (grade 0), et d'autre part un contingent important de lésions structurelles (grades 2-3) justifiant une prise en charge plus encadrée.

En confrontation à la littérature, l'intérêt principal de ces classifications « courtes » est d'offrir une lecture rapide de la sévérité globale, utile pour les échanges cliniques et les audits d'équipe. En revanche, leurs limites sont classiquement la faible granularité (ex. incapacité à isoler finement l'atteinte tendineuse/intratendineuse) et une performance pronostique variable lorsqu'on cherche à prédire le RTP sur la base du seul grade [9,63]. Dans notre série, cette limitation est illustrée par le fait que la classification de Peetrans agrège, au sein des grades élevés, des profils anatomiques potentiellement différents, alors que nos tableaux

UK/FCB-Aspetar-Duke individualisent des sous-groupes « c » qui représentent ~1/5 des lésions.

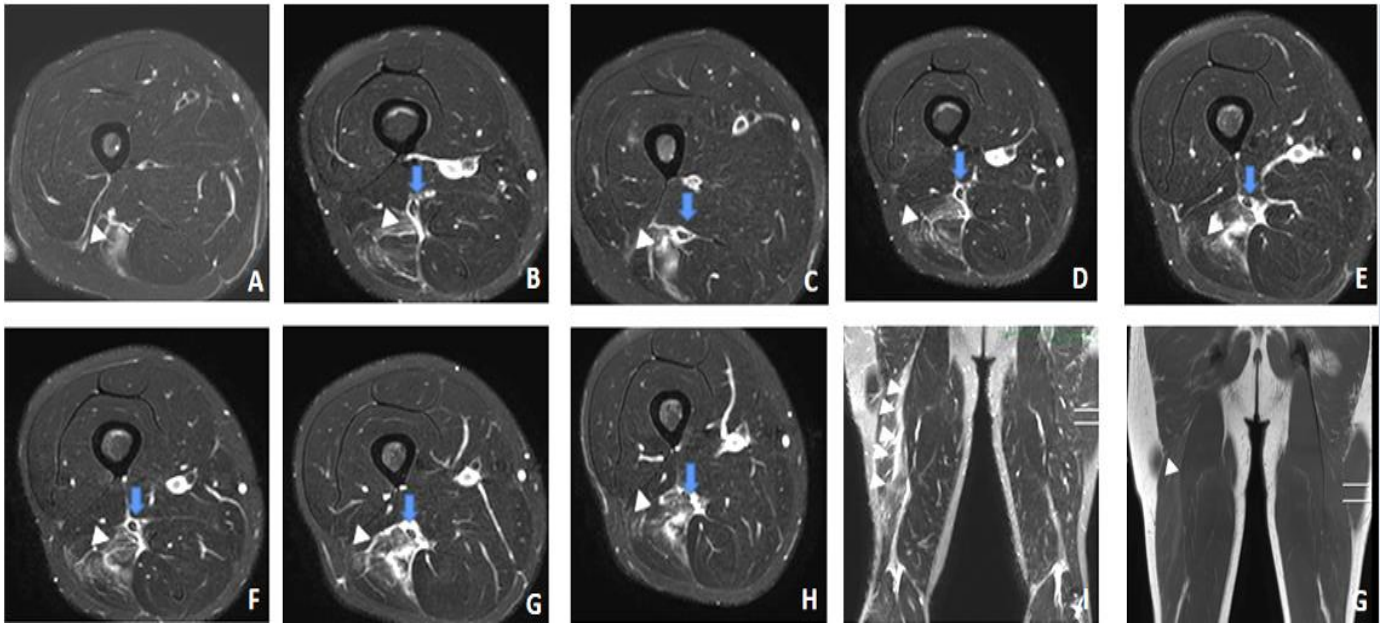


Figure 94 : Lésion du tendon conjoint du long biceps droit classée Peetrans 2.

Séquences axiales T2 STIR (A, B, C, D, E, F, G et H) et coronales T1 et DP Fat Sat (I et J) :

Hypersignal T2 STIR de la partie supérieure et moyenne du tendon conjoint, avec atteinte des ramifications conjonctives du long chef du biceps et de l'aponévrose entre le biceps fémoral et le semi-tendineux droits, avec désorganisation des fibres sur 12 cm (têtes de flèche), associée à une petite collection hématique et à un hypersignal T2 du nerf sciatique avec œdème péri-nerveux (flèche).

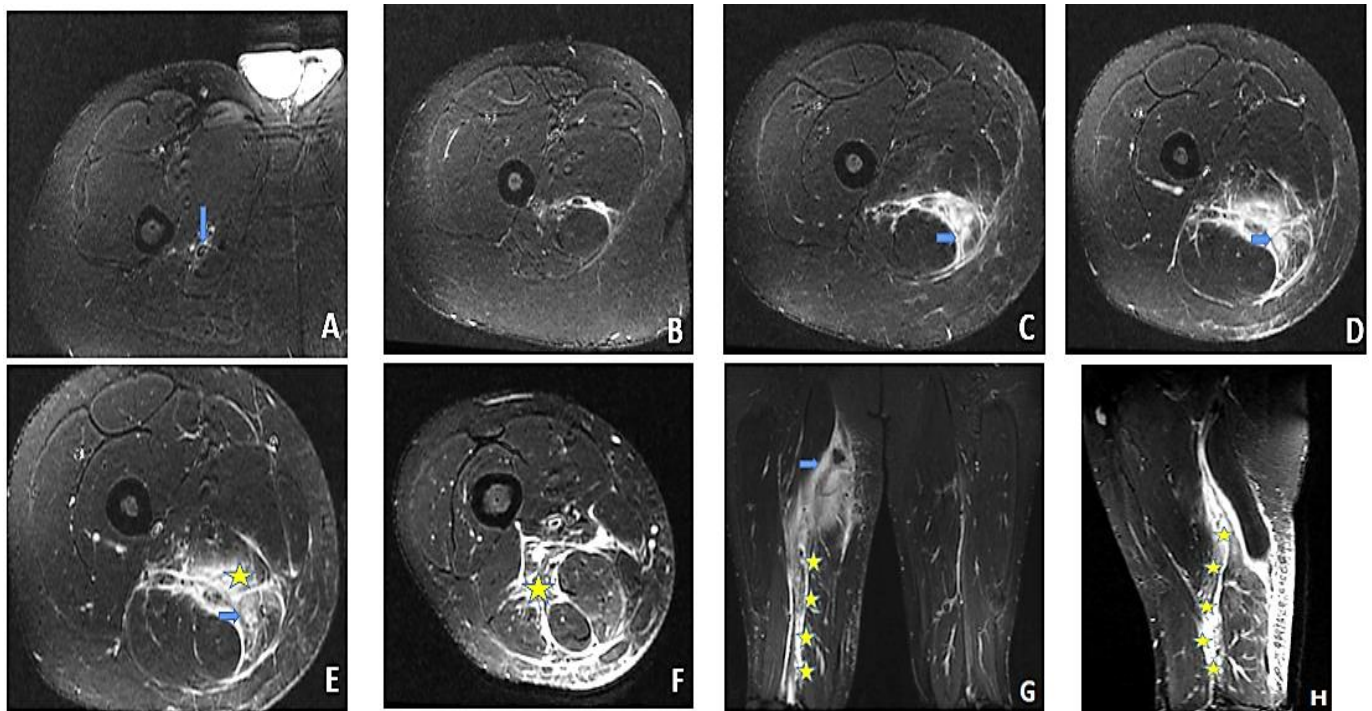


Figure 95 : Lésion de l'aponévrose proximale et myo-aponévrotique du semi-membraneux classée Peetrans 3.

Séquences T2 axiales (A, B, C, D, E et F), coronale (G) et sagittale DP Fat Sat (H) :

Rupture totale de l'aponévrose proximale du semi-membraneux avec rétraction (flèches), associée à une collection hématique (étoiles) et à un hypersignal œdémateux du semi-tendineux et du biceps fémoral.

8.2.3 Classification INSEP

La classification INSEP est initialement une classification échographique, largement utilisée en médecine du sport pour la description morphologique des lésions musculaires. Elle repose sur une gradation de la sévérité lésionnelle et sur la distinction entre atteinte musculaire et atteinte conjonctive, critères morphologiques qui peuvent également être analysés en imagerie par résonance magnétique. Cette transposabilité explique son utilisation fréquente à titre comparatif dans les études IRM et justifie son intégration dans notre analyse.

La classification INSEP confirme la même tendance générale avec 43,2% de grade 0, une majorité de lésions globalement légères à modérées (grades 0-2 : 64,8%), mais également

une proportion importante de grades 3-4 (35,1%). La particularité de notre distribution INSEP est le poids relatif des grades 3 (29,7%), suggérant que, dans notre recrutement, une part significative des lésions objectivées correspond à des atteintes plus étendues/complexes, compatibles avec les contraintes biomécaniques et le niveau d'exigence du football de haut niveau [1,55].

En confrontation critique, l'INSEP a l'avantage, comme Peetrans, d'une lecture hiérarchisée, mais elle reste moins informative qu'une classification intégrant explicitement la nature du tissu atteint. Or, les revues centrées sur l'imagerie du sportif rappellent que la topographie conjonctive (aponévrose, jonction myotendineuse, tendon intramusculaire) conditionne souvent davantage le pronostic et la stratégie de réathlétisation que l'œdème isolé [63]. Ainsi, dans notre travail, l'INSEP est pertinente pour une photographie globale de sévérité, mais la discussion pronostique fine (chapitre corrélations puis RTP) gagnera à s'appuyer prioritairement sur les classifications capables d'isoler les atteintes intratendineuses.

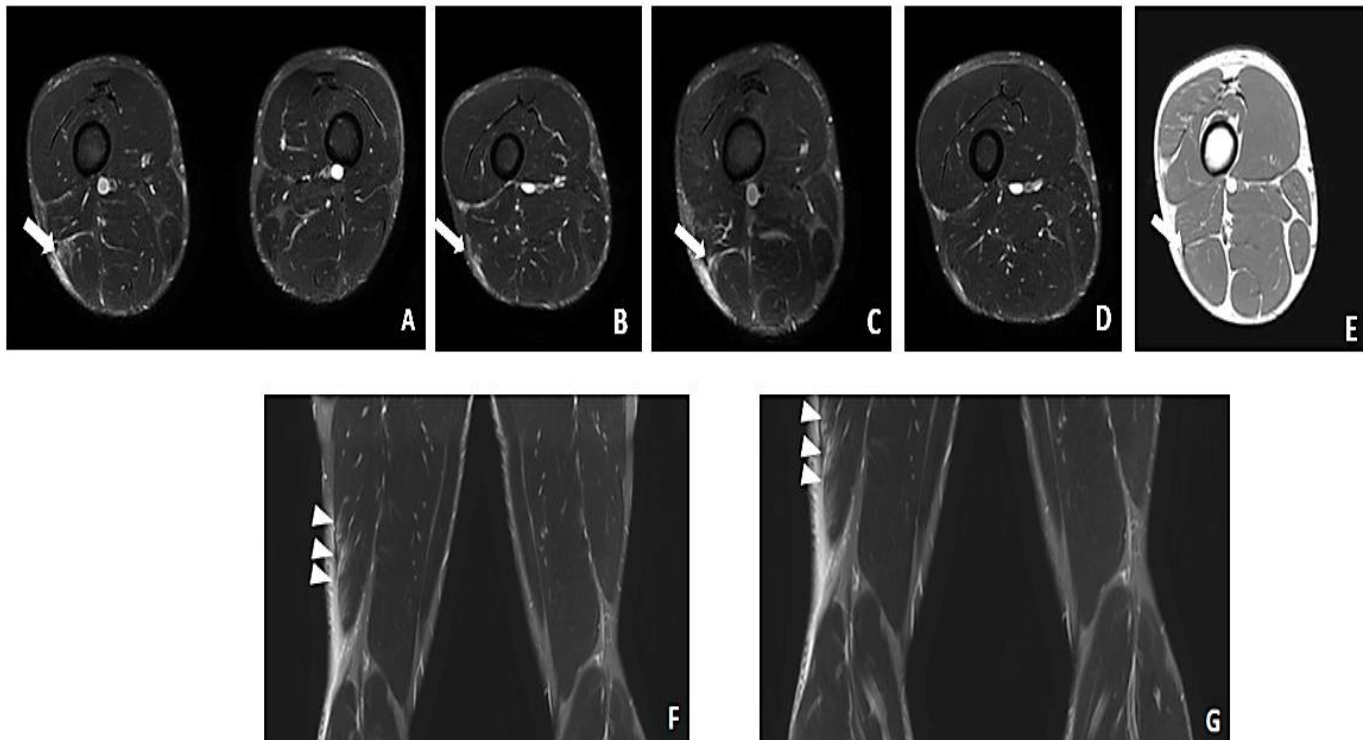


Figure 96 : Lésion aponévrotique distale de la jonction du long et du court biceps fémoral classée INSEP 2C.

Séquences axiales T1 (E), T2 STIR (A, B, C et D) et DP Fat Sat coronales (F et G) :

Hypersignal STIR et DP Fat Sat, associé à un hyposignal T1, le long de l'aponévrose distale entre le long et le court biceps fémoral, ainsi que de l'aponévrose antérieure du court biceps (flèches), avec anomalie mesurant 48 mm de longueur (têtes de flèche).

8.2.4 Classification FC Barcelone – Aspetar – Duke

La classification FC Barcelone – Aspetar – Duke est une classification IRM moderne, développée spécifiquement pour le sport de haut niveau, visant à distinguer les lésions non structurales des lésions structurales, avec une attention particulière portée à l'atteinte myo-aponévrotique et intratendineuse.

Cette classification retrouve, dans notre série, une distribution proche de celle observée avec la British Athletics : dominance des grades 0 (43,2 %), existence de grades intermédiaires (2a : 18,9 %), et surtout identification des atteintes intratendineuses (2c-3c-4c) totalisant 21,6 % (8/37). Le signal principal de nos résultats est donc la coexistence d'un grand

nombre de tableaux non structurels et d'un sous-groupe non négligeable d'atteintes conjonctives ou tendineuses, qui sont précisément celles susceptibles de poser le plus de questions pour la planification du retour au jeu.

Sur le plan de la confrontation à la littérature, l'intérêt de ces classifications « modernes » est d'améliorer le phénotypage des lésions en s'alignant sur les déterminants anatomiques décrits comme pertinents en imagerie du sport, notamment la distinction entre atteinte myofasciale et myotendineuse, et surtout l'atteinte intratendineuse [63,68]. Dans notre série, l'identification répétée des grades « c » par deux systèmes différents (UK Athletics et FC Barcelone – Aspetar – Duke) renforce la robustesse clinique de ce sous-groupe et constitue un point d'appui direct pour la suite du manuscrit : corrélérer ces catégories à la gravité, aux signes conjonctifs, à l'étendue lésionnelle, puis discuter leur implication dans le retour au jeu.

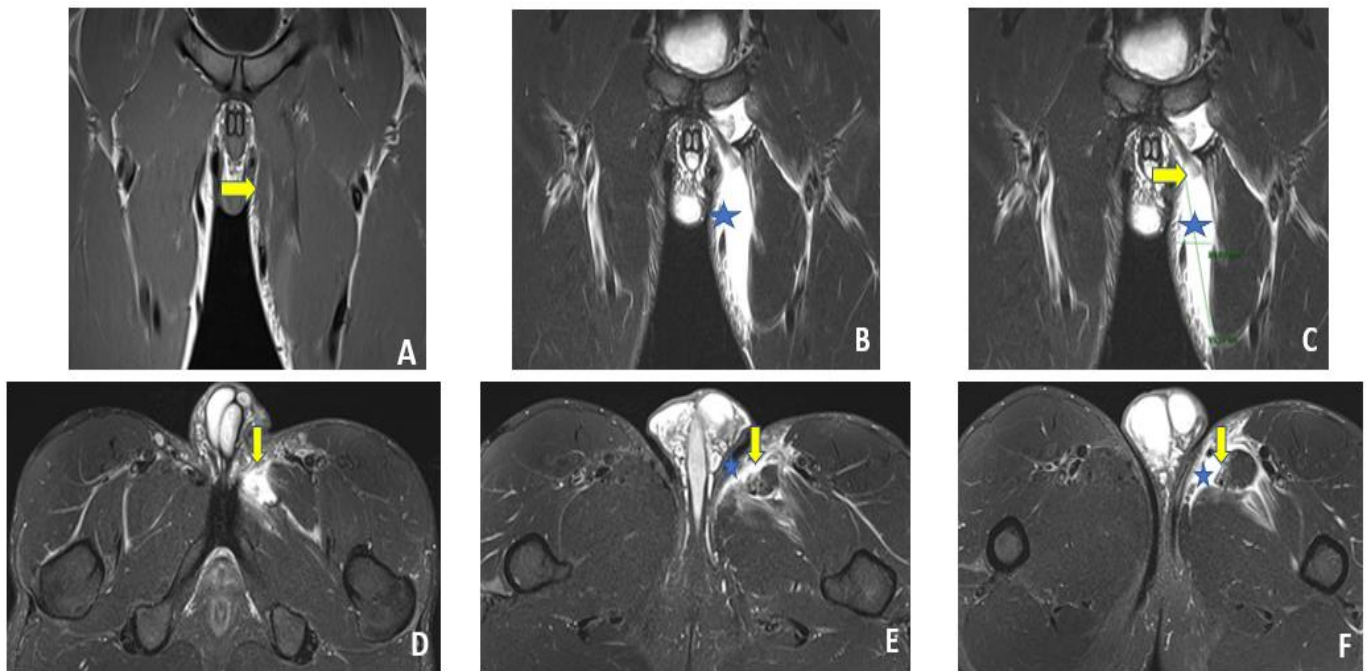


Figure 97 : Rupture totale proximale du long adducteur gauche classée Aspetar 3.

Séquences axiales et coronales T2 STIR (B, C, D, E et F), coronale T1 (A) :

Rupture totale avec avulsion et rétraction tendineuse (flèches jaunes), associée à un hématome (étoiles).

9. Surveillance IRM des lésions musculaires

La place de l'IRM dans la surveillance évolutive des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau reste un sujet débattu. Si l'IRM constitue l'examen de référence pour le diagnostic initial, son utilisation en suivi ne doit pas être systématique et doit répondre à des indications précises, intégrées dans une prise en charge clinico-radiologique globale [3,6,55].

Dans la littérature, plusieurs travaux soulignent que la normalisation complète des anomalies IRM est souvent retardée par rapport à la récupération clinique et fonctionnelle. Reurink et al. ont montré que des anomalies persistantes pouvaient être observées chez des athlètes asymptomatiques ayant repris la compétition sans récurrence ultérieure [4]. Ces données confirment que l'IRM de contrôle ne doit pas être interprétée isolément ni utilisée comme critère unique de reprise sportive.

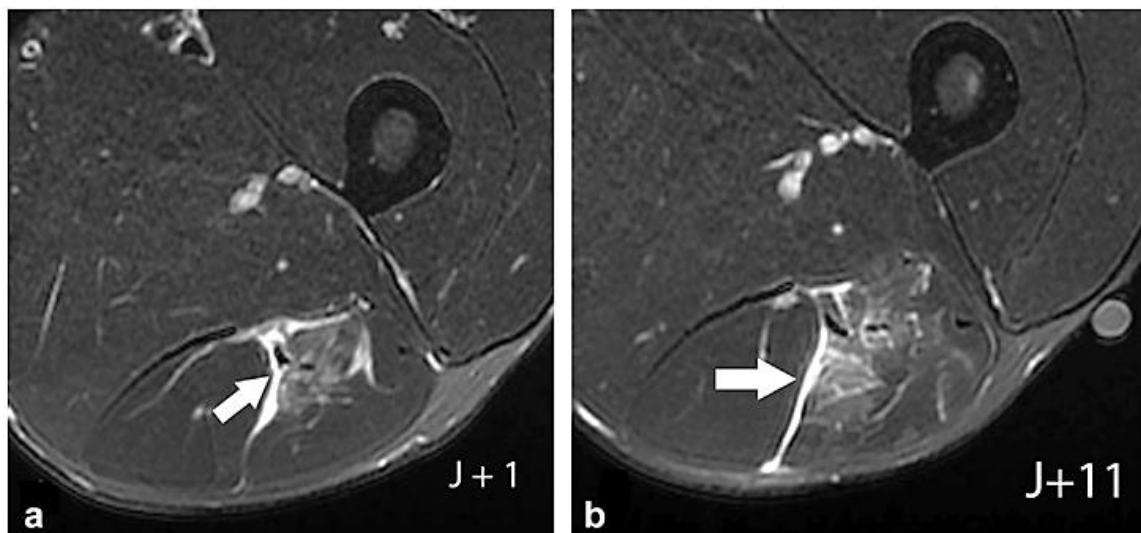


Figure 98 : IRM en coupes axiales STIR illustrant l'évolution d'une lésion des muscles ischio-jambiers chez un footballeur professionnel.

(a) IRM réalisée à J+1 montrant une lésion périphérique du muscle biceps fémoral, caractérisée par un hypersignal T2 localisé (flèche).

(b) IRM de contrôle à J+11 montrant une persistance des anomalies de signal, sans modification morphologique significative, alors que le joueur a repris la compétition et terminé son match sans récurrence.

Cette figure illustre la discordance possible entre les images IRM et la récupération clinique et fonctionnelle, soulignant les limites de l'IRM de surveillance comme critère isolé de reprise sportive. [6]

Néanmoins, l'IRM de surveillance conserve un intérêt majeur dans des situations ciblées. Les synthèses récentes insistent sur son rôle dans l'évaluation de la cicatrisation des lésions structurales, en particulier lorsque le tissu conjonctif est impliqué [3,6,55]. La persistance d'un hypersignal T2 étendu, d'une discontinuité myotendineuse, d'un hématome résiduel organisé ou d'une atteinte intratendineuse mal cicatrisée constitue des signaux d'alerte, associés à un risque accru de retard de récupération ou de récurrence [55,63].

Les classifications IRM modernes, notamment celles intégrant la nature du tissu lésé (myofascial, myotendineux, intratendineux), renforcent l'intérêt d'un suivi morphologique sélectif. Les lésions de type « c », intratendineuses, identifiées dans notre série, justifient une vigilance particulière en raison de leur cicatrisation plus lente et de leur potentiel évolutif défavorable [57,63].

Ainsi, l'IRM de surveillance doit être envisagée prioritairement :

- en cas de lésions modérées à sévères,
- en présence d'une atteinte myotendineuse ou intratendineuse,
- lors d'une évolution clinique atypique,
- ou avant une reprise sportive à haut niveau lorsque subsiste un doute clinique.

Cette approche raisonnée permet d'optimiser la prise en charge tout en évitant une surmédicalisation inutile.

10. Complications des lésions musculaires

Les complications des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau sont relativement rares, mais leur reconnaissance est essentielle car elles peuvent modifier le pronostic fonctionnel, retarder le retour au jeu et exposer à des erreurs diagnostiques. L'IRM joue un rôle central non seulement pour confirmer la complication, mais aussi pour en préciser le mécanisme, le stade évolutif et les diagnostics différentiels [55,63].

10.1. Hernies musculaires

Les hernies musculaires correspondent à une protrusion focale du muscle à travers un défaut aponévrotique ou fascial, le plus souvent secondaire à un traumatisme direct ou à des microtraumatismes répétés [63]. Elles siègent préférentiellement au membre inférieur, avec une prédilection pour le muscle tibial antérieur, bien que d'autres groupes musculaires puissent être concernés chez le sportif.

Cliniquement, la présentation est souvent trompeuse, dominée par une tuméfaction intermittente, parfois douloureuse à l'effort, pouvant simuler une récurrence lésionnelle. L'imagerie n'est pas systématique, mais devient utile en cas de doute clinique ou de gêne persistante. L'échographie dynamique est particulièrement performante, permettant de visualiser la hernie lors de la contraction musculaire. L'IRM peut montrer une discrète déformation du contour musculaire, associée ou non à un œdème localisé, mais peut être normale en dehors de l'effort [55,63].

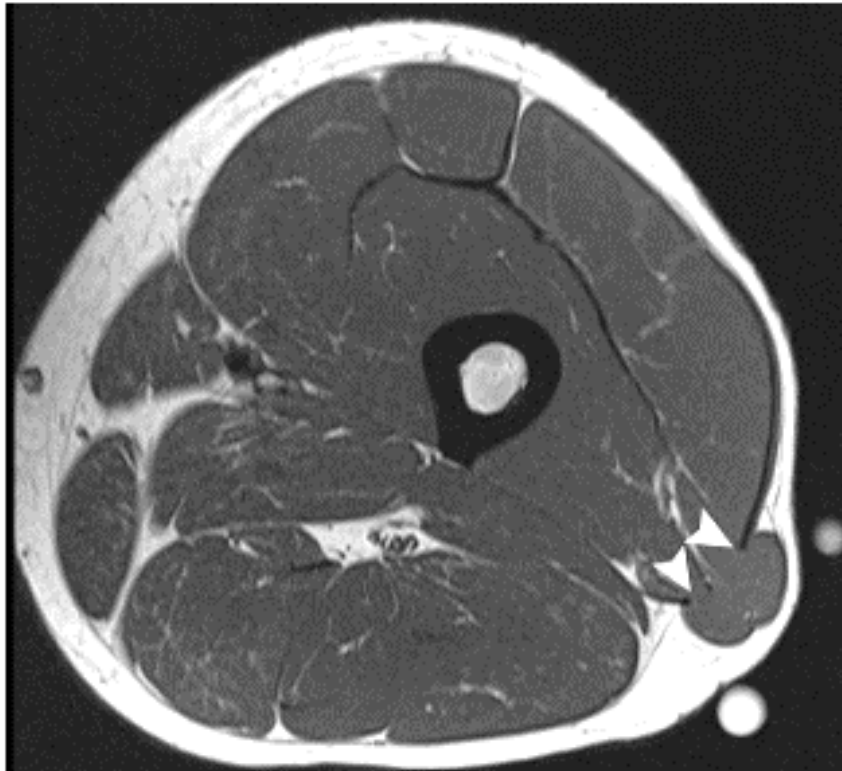


Figure 99 : Hernie musculaire post-traumatique du muscle vaste latéral.

IRM axiale pondérée T1 de la cuisse montrant une protrusion lobulée d'une portion du muscle vaste latéral (têtes de flèches) à travers un défaut de la fascia musculaire normalement en hyposignal, responsable d'une masse palpable cliniquement. Cette image illustre une complication rare des traumatismes musculaires, dont le diagnostic peut être intermittent et parfois nécessiter une exploration dynamique.[55].

10.2. Myosite ossifiante post-traumatique

La myosite ossifiante post-traumatique est une complication rare mais bien décrite, survenant après un traumatisme musculaire, souvent associé à un hématome important ou à des contusions répétées [63]. Elle touche préférentiellement les muscles de la cuisse, notamment les groupes antérieurs, et plus rarement les muscles postérieurs.

Sur le plan physiopathologique, il s'agit d'une prolifération osseuse hétérotopique bénigne au sein du muscle lésé. Le diagnostic précoce peut être délicat, car les signes cliniques précèdent souvent de plusieurs semaines l'apparition des calcifications visibles en radiographie. L'IRM est alors précieuse dans les phases initiales pour identifier un hématome

organisé atypique, une masse douloureuse persistante et pour éliminer une complication infectieuse ou tumorale [55,63].

L'évolution est le plus souvent spontanément favorable, mais l'imagerie est fondamentale pour éviter des gestes invasifs inappropriés (biopsie ou chirurgie précoce), formellement déconseillés au stade inflammatoire [63].

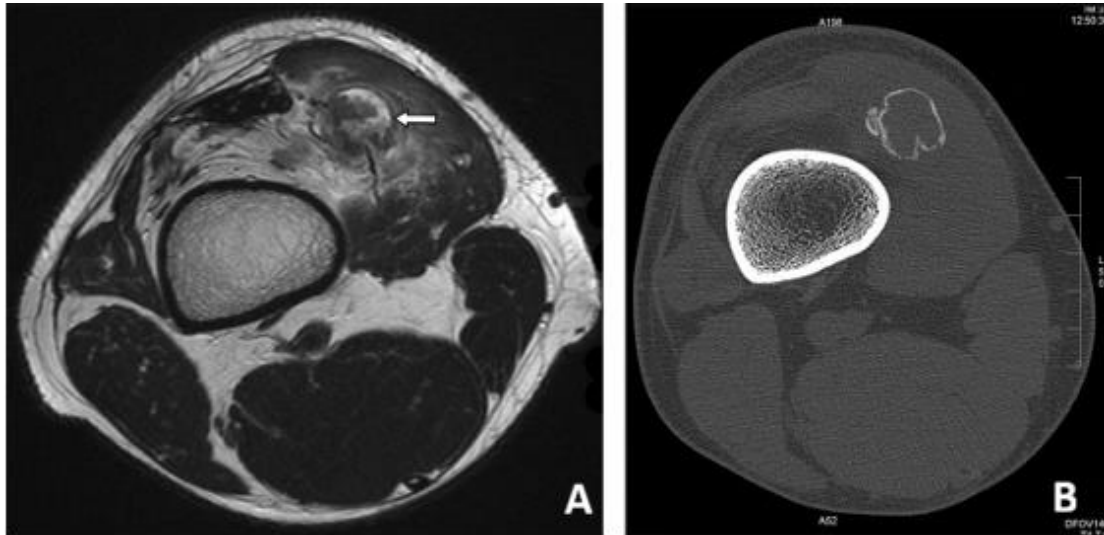


Figure 100 : Myosite ossifiante post-traumatique chez un footballeur professionnel.

- (A) IRM axiale pondérée T2 de la cuisse montrant une masse hétérogène mal limitée au sein du muscle vaste médial (flèche), associée à un œdème et une hémorragie musculaire périphériques, avec une discrète couronne périphérique en hyposignal évoquant une fibrose ou une ossification débutante.
- (B) TDM axiale réalisée deux semaines plus tard objectivant une ossification périphérique en coque, aspect caractéristique et quasi pathognomonique de la myosite ossifiante post-traumatique.[55]

10.3. Fibrose cicatricielle et cicatrisation pathologique

La fibrose cicatricielle constitue une complication fréquente, souvent infraclinique, des lésions musculaires modérées à sévères. Elle résulte d'une réparation excessive ou désorganisée du tissu conjonctif, en particulier au niveau des jonctions myotendineuses ou des structures intramusculaires centrales [21,63].

En IRM, la fibrose se manifeste par une zone linéaire ou nodulaire en hyposignal T1 et T2, parfois associée à une déformation architecturale du muscle. Cette cicatrice peut

constituer un point de fragilité biomécanique, favorisant les récides, notamment lors de la reprise sportive à haute intensité [21].

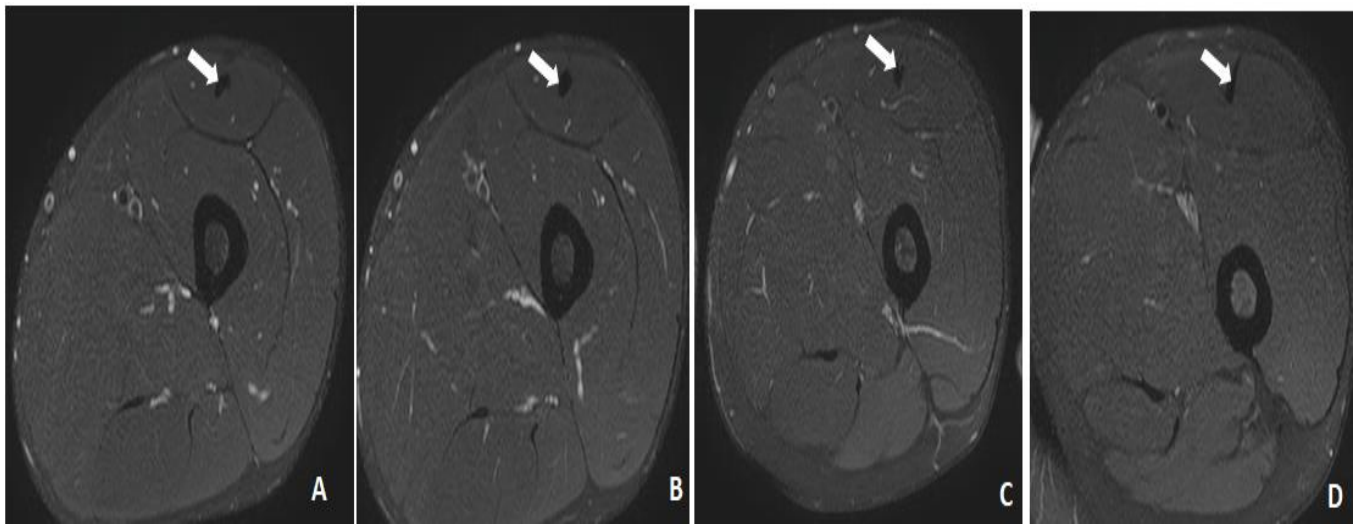


Figure 101 : Lésion fibreuse séquellaire du muscle droit fémoral.

Séquences axiales T2 STIR (A, B, C et D) :

Épaississement de la cloison centrale en hyposignal T2 (flèches blanches).

10.4. Récidive lésionnelle et faux signes de guérison

La récidence musculaire est une complication majeure chez le footballeur de haut niveau. Elle est souvent liée à une reprise sportive trop précoce, sur une cicatrice immature ou mal organisée. L'IRM de surveillance peut montrer des signes trompeurs, avec disparition de l'œdème mais persistance d'un défaut conjonctif ou d'une cicatrice instable [4,21,63]. Plusieurs travaux soulignent que la normalisation clinique n'est pas toujours corrélée à une restitution morphologique complète, exposant à un risque élevé de re-blessure si la décision de retour au jeu repose uniquement sur la symptomatologie [4].

10.5. Autres complications plus rares

D'autres complications ont été décrites plus rarement, notamment :

- La persistance d'un hématome organisé,
- Les compressions neurovasculaires locales,
- Les syndromes douloureux chroniques post-lésionnels.

Ces situations justifient une évaluation IRM ciblée afin d'adapter la prise en charge et d'écarter des diagnostics différentiels non traumatiques [55,63].

IX. Analyse des associations entre données clinico-radiologiques et sévérité lésionnelle

La littérature consacrée aux lésions musculaires du footballeur de haut niveau souligne que la sévérité lésionnelle ne dépend pas d'un facteur isolé, mais résulte d'une interaction complexe entre données cliniques, caractéristiques IRM et contexte biomécanique [1,3,55,63]. Plusieurs travaux ont cherché à identifier des marqueurs cliniques ou radiologiques simples permettant d'anticiper la gravité anatomique et le retentissement fonctionnel des lésions musculaires, avec des résultats parfois hétérogènes selon les populations étudiées et les classifications utilisées [4,9].

Dans ce contexte, l'analyse bivariée réalisée dans notre étude apporte un éclairage intéressant, en mettant en évidence des associations robustes pour certains paramètres, tandis que d'autres variables classiquement évoquées ne montrent pas de lien significatif avec la sévérité IRM.

1. Marqueurs cliniques et radiologiques significativement associés à la sévérité

La présence d'un hématome clinique apparaît dans notre étude comme un marqueur fortement associé à la sévérité lésionnelle, quelle que soit la classification IRM utilisée. Cette observation est cohérente avec les données physiopathologiques et cliniques rapportées dans la littérature, selon lesquelles un hématome palpable traduit une rupture vasculaire et tissulaire plus importante, souvent en rapport avec une déchirure musculaire étendue ou une atteinte myotendineuse significative [3,55,63]. Plusieurs séries IRM ont montré que les lésions associées à un saignement important présentent plus fréquemment une atteinte conjonctive et un volume lésionnel supérieur, éléments corrélés à une évolution plus prolongée [4,61].

De même, l'association observée entre un hypersignal T2 étendu et la sévérité des lésions musculaires est attendue et concordante avec les données de la littérature. L'extension

de l'hypersignal traduit l'importance de l'œdème et du saignement intramusculaire, reflétant indirectement l'étendue de la désorganisation architecturale [55]. Les classifications IRM modernes, en particulier celles intégrant des critères d'étendue longitudinale et transversale, reposent précisément sur cette relation entre volume lésionnel et gravité anatomique [68]. Nos résultats confirment ainsi que l'absence d'hypersignal T2 étendu est rarement associée à des lésions sévères, ce qui rejoint les observations rapportées chez les footballeurs professionnels et les athlètes de haut niveau [4,63].

2. Variables non significativement associées à la sévérité : interprétation

À l'inverse, certaines variables classiquement évoquées dans la pratique clinique ne montrent pas d'association significative avec la sévérité IRM dans notre cohorte. L'absence de lien entre l'aspect bleuâtre cutané et la gravité lésionnelle suggère que l'extension superficielle d'une ecchymose ne reflète pas nécessairement l'importance de la lésion musculaire sous-jacente. Cette dissociation est bien décrite dans la littérature, où des lésions profondes, contenues par les fascias, peuvent être sévères sans manifestation cutanée marquée, tandis que des ecchymoses étendues peuvent accompagner des lésions relativement limitées [55,63].

De même, l'absence d'association statistiquement significative entre les antécédents de lésions musculaires et la sévérité de l'épisode actuel mérite d'être soulignée. Si les antécédents constituent l'un des principaux facteurs de risque de survenue d'une nouvelle lésion musculaire [44,60], plusieurs travaux suggèrent qu'ils ne préjugent pas nécessairement de la gravité anatomique de l'atteinte lors d'un nouvel épisode [4]. Nos résultats vont dans ce sens, bien qu'une tendance à des lésions plus sévères chez les joueurs ayant des antécédents ait été observée sans atteindre le seuil de significativité, ce qui peut s'expliquer par la taille limitée de l'échantillon.

Enfin, l'absence de relation entre la sévérité lésionnelle et les variables démographiques telles que l'âge ou le sexe apparaît plausible dans une population relativement homogène de footballeurs de haut niveau, majoritairement jeunes et soumis à des contraintes d'entraînement comparables. Plusieurs études ont déjà montré que, dans ce contexte spécifique, les facteurs biomécaniques, la charge d'entraînement et la localisation anatomique

de la lésion sont plus déterminants que les caractéristiques démographiques pour expliquer la gravité des lésions musculaires [1,45,56].

3. Apport global de l'analyse des associations

L'ensemble de ces résultats confirme que certains signes cliniques simples, comme l'hématome, et certains critères IRM, comme l'hypersignal T2 étendu, constituent des indicateurs fiables de sévérité anatomique, indépendamment du système de classification utilisé. À l'inverse, l'absence d'association pour d'autres variables souligne les limites d'une approche exclusivement clinique ou démographique.

Ces observations renforcent l'intérêt d'une évaluation intégrative des lésions musculaires, combinant données cliniques et analyse IRM détaillée, plutôt que de s'appuyer sur un facteur isolé. Elles constituent également un socle méthodologique solide pour la suite du travail, en particulier pour l'analyse des corrélations entre sévérité lésionnelle, évolution clinique et délai de retour à la compétition.

X. IRM et Return To Play (RTP)

Le retour du jeu (RTP) après une lésion musculaire constitue un enjeu majeur chez le footballeur de haut niveau, en raison de l'impact fonctionnel, économique et du risque élevé de récurrence. Bien que le délai de RTP n'ait pas été directement évalué dans notre étude, la discussion de la place de l'IRM dans cette problématique repose sur les données de la littérature, mises en perspective avec nos résultats morphologiques et classificatoires. L'objectif n'est pas de proposer des critères décisionnels stricts, mais d'identifier les éléments IRM susceptibles d'orienter l'évaluation du risque et de sécuriser la reprise sportive.

1. Facteurs IRM prédictifs du délai de retour du jeu

De nombreuses études se sont intéressées à la valeur pronostique de l'IRM dans l'estimation du délai de RTP après une lésion musculaire. Les paramètres les plus fréquemment étudiés concernent l'étendue de la lésion, sa topographie et l'implication du tissu conjonctif.

L'étendue longitudinale et transversale de la lésion, ainsi que le volume de l'hypersignal T2, ont été régulièrement associés à un allongement du temps d'indisponibilité sportive. Ces

corrélations, bien que globalement constantes, restent de force modérée et présentent une variabilité importante selon le groupe musculaire atteint et le niveau sportif, limitant leur utilisation comme outils prédictifs individuels fiables [55,61,70].

L'atteinte du tissu conjonctif apparaît comme le facteur IRM le plus défavorablement associé au délai de RTP dans la littérature. Les lésions intéressant la jonction myotendineuse ou le tendon intramusculaire présentent une cicatrisation plus lente, une restitution biomécanique incomplète et un risque accru de récurrence, expliquant un délai de reprise généralement prolongé [63,68,71]. Ces observations sont cohérentes avec les mécanismes physiopathologiques de la réparation tissulaire, le tissu conjonctif ayant des propriétés mécaniques et biologiques distinctes de celles du muscle contractile.

À l'inverse, plusieurs travaux ont montré que la persistance d'un hypersignal T2 isolé ou d'anomalies cicatricielles résiduelles peut être observée chez des sportifs asymptomatiques ayant repris la compétition sans récurrence. Ces données indiquent que la normalisation complète de l'IRM n'est pas un prérequis indispensable au RTP et que l'imagerie ne doit pas être interprétée de manière isolée [4,55,68].

Ainsi, les facteurs IRM décrits comme associés au délai de RTP doivent être envisagés comme des indicateurs de tendance et de stratification du risque, et non comme des critères décisionnels autonomes.

Tableau 67 : Facteurs IRM associés au Return To Play : confrontation avec la littérature

Facteur IRM	Description	Impact rapporté sur le RTP	Études de référence
Étendue longitudinale de la lésion	Longueur de l'hypersignal T2 ou de la rupture	Allongement global du délai de RTP	Ekstrand et al. [1], Flores et al. [55], Lee et al. [70]
Étendue transversale / volume lésionnel	Pourcentage de section musculaire atteinte	Délai de RTP plus long sans seuil prédictif fiable	Guermazi et al. [3,63], Lee et al. [70]
Désorganisation architecturale	Rupture des fibres musculaires	Récupération plus lente	Pedret et al. [61], Flores et al. [55]
Atteinte myotendineuse	Lésion de la jonction myotendineuse	Retard de RTP, risque accru de récurrence	Avrillon et al. [7], Guermazi et al. [63]
Atteinte intratendineuse	Hypersignal ou rupture intratendineuse	Facteur IRM défavorable majeur	Guermazi et al. [63], Isern-Kebschull et al. [68], Sergot et al. [71]
Hypersignal T2 isolé résiduel	Œdème persistant sans rupture	Pas de retard de RTP si asymptomatique	Reurink et al. [4], Isern-Kebschull et al. [68]
Anomalies cicatricielles persistantes	Fibrose, épaissement conjonctif	Faible valeur prédictive isolée	Reurink et al. [4], Lee et al. [70]

2. Intérêt des classifications IRM dans le RTP

Les classifications IRM des lésions musculaires ont été développées afin de standardiser l'évaluation de la gravité lésionnelle et d'améliorer la communication entre cliniciens, radiologues et équipes de performance. Leur intérêt dans le contexte du RTP réside principalement dans leur capacité à regrouper des profils lésionnels partageant des caractéristiques anatomiques et évolutives communes.

Les classifications simplifiées, telles que la classification de Peetrans modifiée ou la classification INSEP, offrent une appréciation globale de la sévérité, utile pour une première estimation du pronostic fonctionnel. Toutefois, leur faible granularité limite leur capacité à identifier des sous-groupes à risque de cicatrisation prolongée ou de récurrence [9].

À l'inverse, les classifications plus détaillées, comme la classification British Athletics ou la classification FC Barcelone-Aspetar-Duke, intègrent explicitement la nature du tissu lésé.

L'identification des lésions intratendineuses ou des atteintes myotendineuses complexes permet de distinguer des profils à haut risque, pour lesquels une progression prudente de la réathlétisation est généralement recommandée dans la littérature [57,63,71].

Néanmoins, plusieurs travaux soulignent les limites de ces classifications, notamment la variabilité inter-observateur et l'absence de seuils décisionnels validés pour guider de manière formelle le RTP. Leur intérêt réside donc davantage dans une approche intégrative, associant classification IRM, analyse morphologique détaillée, données cliniques et tests fonctionnels, plutôt que dans une utilisation isolée à visée prédictive [9,68].

3. Place de l'IRM dans la décision de reprise sportive

L'IRM ne doit pas être considérée comme un outil de validation ou d'exclusion automatique du retour à la compétition. La persistance d'anomalies morphologiques, en particulier cicatricielles, est fréquente après une lésion musculaire et ne préjuge pas systématiquement d'une incapacité fonctionnelle [4,55].

Dans la pratique clinique, la littérature suggère que l'IRM trouve sa place dans la décision de RTP principalement dans des situations ciblées, notamment en cas de lésions initialement sévères, d'atteinte myotendineuse ou intratendineuse, d'évolution clinique atypique ou prolongée, ou encore pour évaluer le risque de récurrence dans un contexte de reprise à haute intensité.

Ainsi, l'IRM doit être envisagée comme un outil d'aide à la décision permettant d'objectiver la morphologie lésionnelle et la qualité de la cicatrisation, sans se substituer à l'examen clinique et à l'évaluation fonctionnelle. Cette approche intégrative, largement soutenue par la littérature, apparaît comme la plus pertinente pour sécuriser le Return To Play chez le footballeur de haut niveau [51,55,63].

XI. Limites de l'IRM

Malgré sa sensibilité élevée et son apport majeur dans l'évaluation des lésions musculaires, l'IRM présente plusieurs limites chez le footballeur de haut niveau. La principale réside dans la corrélation imparfaite entre les anomalies IRM et l'état clinique ou fonctionnel du joueur. La persistance d'un hypersignal musculaire ou de remaniements cicatriciels peut être observée alors que la récupération clinique est complète, sans retentissement fonctionnel ni augmentation immédiate du risque de récurrence. À l'inverse, une symptomatologie persistante peut exister malgré une normalisation quasi complète des images, soulignant les limites d'une interprétation strictement morphologique [4,52,63].

Une autre limite importante concerne la dépendance de l'interprétation IRM à l'expertise du radiologue. L'analyse des lésions musculaires, en particulier l'évaluation de la topographie précise, de l'atteinte myotendineuse ou du tendon intramusculaire, ainsi que l'appréciation de l'étendue lésionnelle, reste en partie opérateur-dépendante. Plusieurs auteurs ont mis en évidence une variabilité inter observateur, notamment dans l'application des classifications IRM et dans l'évaluation pronostique des lésions musculaires [3,9,63].

Par ailleurs, la valeur pronostique relative des classifications IRM constitue une limite reconnue. Bien que ces classifications contribuent à structurer l'analyse lésionnelle et à améliorer la communication entre praticiens, leur capacité à prédire de façon fiable la durée d'indisponibilité ou le délai optimal de reprise sportive reste limitée, en particulier chez le footballeur professionnel soumis à des contraintes de performance élevées [9,57,63].

L'IRM montre également des limites dans l'évaluation de certaines situations complexes, notamment les douleurs chroniques ou les tableaux de surcharge musculaire, pour lesquels les anomalies observées peuvent être peu spécifiques ou multifactorielles. Dans ces contextes fréquents chez le footballeur de haut niveau, l'imagerie ne permet pas toujours d'identifier un substrat lésionnel unique expliquant la symptomatologie, imposant une approche intégrée associant imagerie, examen clinique et évaluation fonctionnelle [3,55].

Enfin, la répétition des examens IRM dans le suivi du footballeur professionnel doit être raisonnée. Une interprétation excessive des anomalies résiduelles peut conduire à une surmédicalisation et à un allongement injustifié de l'arrêt sportif. L'IRM doit ainsi être considérée comme un outil d'aide à la décision, intégré dans une prise en charge globale et multidisciplinaire, et non comme un critère absolu de reprise ou de non-reprise sportive [6,63].

XII. IRM et intelligence artificielle

Les avancées technologiques récentes en imagerie médicale ouvrent de nouvelles perspectives dans l'analyse des lésions musculaires, notamment à travers le développement d'outils d'aide à l'interprétation basés sur l'intelligence artificielle. Dans le domaine de l'IRM musculaire, ces approches suscitent un intérêt croissant, en particulier pour améliorer l'objectivité de l'analyse, réduire la variabilité inter-observateur et extraire des données quantitatives difficilement accessibles en pratique courante [3,63].

En imagerie musculaire, l'un des champs d'application potentiels de l'intelligence artificielle concerne la segmentation musculaire, qui vise à délimiter de manière précise les contours des muscles et des structures conjonctives. Actuellement, cette analyse repose essentiellement sur une lecture visuelle experte ou sur des segmentations manuelles, méthodes longues, fastidieuses et peu compatibles avec une utilisation clinique de routine, notamment chez le footballeur de haut niveau [20]. L'automatisation de ces étapes pourrait permettre une quantification plus fiable de paramètres tels que le volume musculaire, l'extension de l'œdème ou l'importance des remaniements cicatriciels.

Toutefois, à l'heure actuelle, l'utilisation de l'intelligence artificielle appliquée à l'IRM des lésions musculaires du membre inférieur, et en particulier chez le footballeur de haut niveau, reste essentiellement du domaine de la recherche. La littérature disponible ne permet pas encore de valider son apport réel dans l'évaluation diagnostique, pronostique ou décisionnelle des lésions musculaires, ni son impact sur la prise en charge clinique ou le retour au jeu [3,63].

Par ailleurs, ces outils reposent sur des algorithmes nécessitant des bases de données larges, standardisées et annotées, ce qui constitue une limite majeure dans un contexte où les protocoles IRM, les classifications lésionnelles et les profils des sportifs sont hétérogènes. Chez le footballeur professionnel, la diversité des mécanismes lésionnels et des adaptations musculaires liées à l'entraînement intensif complique encore la généralisation de ces approches [3,20].

Ainsi, l'intelligence artificielle appliquée à l'IRM musculaire apparaît aujourd'hui comme une piste prometteuse, susceptible à terme d'améliorer l'objectivation des lésions et le suivi évolutif. Néanmoins, son intégration dans la pratique clinique courante chez le footballeur de haut niveau nécessite encore des validations méthodologiques solides, et elle doit être envisagée comme un outil complémentaire à l'expertise radiologique et clinique, et non comme un substitut [3].

Limites de l'étude

La présente étude comporte plusieurs limites qu'il convient de prendre en considération lors de l'interprétation des résultats.

La taille relativement limitée de l'échantillon, constitué de 37 footballeurs de haut niveau, dont 22 présentant des lésions structurelles objectivées à l'imagerie par résonance magnétique, constitue une première limite. Bien que cet effectif soit comparable à celui rapporté dans certaines séries consacrées à l'imagerie musculaire du sportif de haut niveau, il réduit la puissance statistique des analyses et limite la généralisation des résultats à l'ensemble de la population des footballeurs professionnels.

La durée de l'étude, limitée à six mois, représente une contrainte méthodologique supplémentaire. Cette période n'a pas permis la réalisation d'un suivi longitudinal clinique et radiologique des joueurs, ni l'évaluation de l'évolution des lésions musculaires jusqu'à la cicatrisation complète. De plus, la poursuite de l'inclusion des cas jusqu'au terme de la période d'étude n'a pas permis d'analyser les délais de récupération, les récurrences musculaires ou l'évolution fonctionnelle à moyen et long terme.

Par ailleurs, ce travail a été volontairement centré sur l'analyse morphologique et sémiologique des lésions musculaires en imagerie par résonance magnétique. Dans ce cadre, l'accès aux données cliniques évolutives, aux modalités de prise en charge thérapeutique et de rééducation, ainsi qu'aux paramètres de charge d'entraînement et de performance sportive n'a pas été possible, limitant ainsi les corrélations clinico-radiologiques.

L'étude n'a pas permis d'intégrer l'analyse du retour au jeu (Return To Play). L'absence de suivi prolongé de la population étudiée, associée à la collecte continue des cas jusqu'à la fin de la période d'étude, n'a pas autorisé l'évaluation des délais de reprise sportive ni l'identification de facteurs IRM prédictifs du retour à la compétition.

En outre, cette étude s'inscrit dans un contexte national marqué par l'absence de travaux prospectifs similaires réalisés au Maroc, spécifiquement dédiés à l'exploration IRM des lésions musculaires chez les footballeurs de haut niveau. Cette absence de données locales comparatives limite la confrontation directe de nos résultats à des séries nationales.

De plus, la littérature internationale disponible demeure relativement limitée et hétérogène concernant les lésions musculaires étudiées exclusivement chez les footballeurs professionnels. De nombreuses études incluent des populations sportives mixtes, regroupant différents sports et niveaux de pratique, ce qui complique la comparaison directe avec les résultats de la présente étude.

Enfin, bien que l'étude ait été menée au sein de deux structures d'imagerie spécialisées, à savoir le centre de radiologie de la Fédération Royale Marocaine de Football – Complexe Mohammed VI et un cabinet privé spécialisé, elle demeure limitée à un nombre restreint de centres, ce qui peut introduire un biais de recrutement et limiter l'extrapolation des résultats à l'ensemble des structures médico-sportives nationales.

Malgré ces limites, la rigueur méthodologique adoptée et l'homogénéité de la population étudiée confèrent à ce travail une valeur descriptive pertinente, constituant une base pour de futures études prospectives de plus grande ampleur.



PERSPECTIVES



Les résultats de ce travail ouvrent plusieurs perspectives cliniques, scientifiques et organisationnelles dans le domaine de l'imagerie musculaire et de la médecine du sport.

Sur le plan scientifique, la poursuite de cette étude sous la forme de travaux prospectifs multicentriques, incluant un effectif plus important de footballeurs de haut niveau, permettrait d'augmenter la puissance statistique des analyses et de renforcer la validité externe des résultats. Une telle démarche favoriserait également la constitution de données nationales de référence, actuellement inexistantes au Maroc, concernant les lésions musculaires explorées par imagerie par résonance magnétique chez les footballeurs professionnels.

L'intégration d'un suivi longitudinal clinique et IRM constitue une perspective majeure. La réalisation d'examens IRM de contrôle, associée à une évaluation clinique standardisée, permettrait d'analyser l'évolution morphologique des lésions musculaires, les modalités de cicatrisation et leur relation avec l'évolution fonctionnelle des joueurs, notamment le risque de récurrence.

Par ailleurs, l'inclusion systématique des données relatives au retour au jeu (Return To Play) représente un axe de recherche essentiel. L'étude des relations entre les caractéristiques IRM initiales, l'évolution des anomalies morphologiques et les délais réels de reprise sportive contribuerait à affiner la valeur pronostique de l'IRM et à optimiser la prise de décision médico-sportive.

Une autre perspective importante réside dans le renforcement des corrélations clinoradiologiques, par l'intégration des paramètres cliniques évolutifs, des protocoles de rééducation, ainsi que des données de charge d'entraînement et de performance sportive. Cette approche multidisciplinaire permettrait une compréhension plus globale des mécanismes lésionnels et de leur impact fonctionnel.

Sur le plan méthodologique, l'évaluation de la reproductibilité inter-observateur des lectures IRM et l'harmonisation des protocoles d'acquisition et d'interprétation contribueraient à améliorer la standardisation des pratiques et la fiabilité des classifications IRM utilisées.

Enfin, dans le contexte marocain, ce travail souligne l'intérêt de développer et de structurer davantage les unités de médecine du sport et d'imagerie spécialisée, en intégrant

l'IRM musculaire comme un outil central non seulement diagnostique, mais également pronostique et préventif, au service de la prise en charge des footballeurs de haut niveau.



Les lésions musculaires du membre inférieur représentent une cause fréquente d'indisponibilité sportive chez les footballeurs de haut niveau, avec un impact majeur sur la performance, la continuité de la carrière sportive et le risque de récurrence.

Ce travail prospectif a permis d'évaluer l'apport de l'imagerie par résonance magnétique dans l'exploration des lésions musculaires chez les footballeurs de haut niveau, en mettant en évidence son rôle central dans la détection des lésions structurales, la caractérisation précise des atteintes tissulaires et l'évaluation de leur étendue et de leur sévérité.

Les résultats de cette étude confirment la prédominance des lésions des muscles de la cuisse, en particulier des ischio-jambiers et des adducteurs, avec une fréquence élevée des atteintes myo-aponévrotiques et des lésions de la jonction myotendineuse. L'analyse détaillée des différentes classifications IRM a permis de souligner leur complémentarité et leur intérêt dans l'évaluation de la gravité lésionnelle.

Au-delà de son intérêt diagnostique, l'IRM apparaît comme un outil indispensable dans la prise en charge globale des lésions musculaires chez le footballeur de haut niveau, contribuant à une meilleure compréhension des mécanismes lésionnels et à une évaluation plus objective de la sévérité des atteintes.

Ce travail constitue une contribution originale dans le contexte marocain et offre une base solide pour le développement de futures études prospectives intégrant le suivi évolutif, les paramètres cliniques et le retour au jeu, dans l'objectif d'optimiser la prise en charge médico-sportive des footballeurs de haut niveau.



Résumé

Les lésions musculaires constituent l'une des principales causes d'arrêt sportif chez les footballeurs de haut niveau, représentant une part importante des blessures au cours de la saison. Elles concernent préférentiellement les muscles du membre inférieur, en particulier ceux de la cuisse, fortement sollicités lors des efforts explosifs, du sprint et des changements de direction. Leur impact médico-sportif est majeur, tant sur la performance que sur le risque de récurrence et le délai de retour au jeu (Return To Play, RTP). Dans ce contexte, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) s'est imposée comme l'examen de référence pour le diagnostic, le bilan lésionnel et l'évaluation pronostique des lésions musculaires du sportif.

Notre travail avait pour objectif d'évaluer l'apport de l'IRM dans l'exploration des lésions musculaires du membre inférieur chez les footballeurs de haut niveau, d'en décrire les aspects sémiologiques selon les différentes classifications IRM reconnues, et de confronter nos résultats aux données de la littérature internationale.

Il s'agit d'une étude prospective descriptive, réalisée sur une période de six mois au service de radiologie de l'Hôpital AR-RAZI du CHU Mohammed VI de Marrakech. L'étude portait sur 37 footballeurs professionnels marocains, âgés de 19 à 34 ans, avec un âge moyen de $25,05 \pm 4,26$ ans. Une prédominance masculine était notée (83,8 %).

Sur le plan clinique, 100 % des lésions étaient d'origine intrinsèque, survenant majoritairement en match (62,2 %). Les douleurs brutales constituaient le symptôme immédiat le plus fréquent (56,8 %). À l'examen clinique, une douleur localisée était retrouvée chez 100 % des joueurs, une sensation de claquage musculaire chez 89,2 %, et un arrêt de l'activité sportive chez 67,6 %. Un hématome clinique était observé dans 27 % des cas.

L'IRM était réalisée dans un délai moyen de 3 jours post-traumatiques, avec un protocole standardisé incluant des séquences T1, DP Fat Sat et T2 STIR. Une lésion structurelle objectivable était identifiée chez 59,5 % des joueurs, tandis que 40,5 % présentaient des IRM de grade 0 sans lésion structurelle visible. L'anomalie de signal prédominante était l'hypersignal T2, observé dans 56,8 % des cas.

Sur le plan topographique, les ischio-jambiers constituaient le groupe musculaire le plus fréquemment atteint (35,1 %), suivis des adducteurs (27,0 %), du quadriceps (21,6 %) et du mollet (10,8 %). En ne considérant que les lésions structurelles IRM, cette répartition restait comparable, avec une prédominance des ischio-jambiers (31,8 %) et des adducteurs (27,3 %). Les lésions intéressaient majoritairement les structures aponévrotiques, myo-aponévrotiques et conjonctives, représentant environ 50 % des localisations tissulaires, alors que les atteintes musculaires pures et tendineuses étaient moins fréquentes.

Les anomalies lésionnelles les plus fréquemment observées étaient l'hématome (72,7 %), la rupture partielle (68,2 %) et l'épaississement aponévrotique ou cloison conjonctive (59,1 %). Les lésions sévères, telles que les ruptures totales, restaient rares (13,6 %). Une atteinte associée du nerf sciatique était retrouvée dans 9,1 % des lésions structurelles, exclusivement au niveau des ischio-jambiers.

L'évaluation de l'étendue lésionnelle montrait que 45,5 % des lésions intéressaient 10 à 50 % de la section transversale musculaire, tandis que 31,8 % dépassaient 50 %. Sur le plan longitudinal, les lésions mesurant 5 à 10 cm étaient les plus fréquentes (40,9 %).

Les classifications IRM (UK Athletics, Peetrans modifiée, INSEP et FC Barcelone-Aspetar-Duke) mettaient en évidence une prédominance des lésions légères à modérées, tout en identifiant un sous-groupe non négligeable de lésions sévères, notamment intratendineuses, connues pour leur impact pronostique sur le délai de RTP.

En conclusion, notre étude confirme le rôle central de l'IRM dans le diagnostic, la caractérisation morphologique et l'évaluation de la sévérité des lésions musculaires chez les footballeurs de haut niveau. Elle permet une analyse fine des structures atteintes, une meilleure stratification pronostique et constitue un outil indispensable pour optimiser la prise en charge médico-sportive et la décision de reprise sportive.

Abstract

Muscle injuries represent one of the leading causes of sports absence among elite football players and account for a substantial proportion of injuries during the competitive season. They predominantly affect the muscles of the lower limb, particularly the thigh muscles, which are highly stressed during explosive actions, sprinting, and rapid changes of direction. Their medical and sporting impact is considerable, influencing performance, recurrence risk, and time to return to play (RTP). In this context, magnetic resonance imaging (MRI) has become the reference imaging modality for the diagnosis, lesion assessment, and prognostic evaluation of sports-related muscle injuries.

The objective of this study was to evaluate the contribution of MRI in the assessment of lower limb muscle injuries in elite football players, to describe their imaging features according to established MRI classification systems, and to compare our findings with data from the international literature.

This was a prospective descriptive study conducted over a six-month period in the radiology department of AR-RAZI Hospital, Mohammed VI University Hospital of Marrakech. The study included 37 professional Moroccan football players aged between 19 and 34 years, with a mean age of 25.05 ± 4.26 years. A male predominance was observed (83.8%).

Clinically, all injuries were of intrinsic origin and occurred mainly during matches (62.2%). Sudden pain was the most frequent initial symptom (56.8%). On physical examination, localized pain was present in all players (100%), a sensation of muscle tearing in 89.2%, and immediate cessation of sporting activity in 67.6%. Clinical hematoma was observed in 27% of cases.

MRI was performed at a mean delay of 3 days post-injury using a standardized protocol including T1-weighted, proton density fat-saturated, and T2-STIR sequences. A structural muscle injury was identified in 59.5% of players, while 40.5% showed grade 0 MRI findings without visible structural lesions. The most frequent signal abnormality was T2 hyperintensity, observed in 56.8% of cases.

Topographically, the hamstrings were the most frequently affected muscle group (35.1%), followed by the adductors (27.0%), quadriceps (21.6%), and calf muscles (10.8%). When considering only MRI-confirmed structural injuries, a similar distribution was observed, with predominance of hamstring (31.8%) and adductor (27.3%) involvement. Lesions mainly affected aponeurotic, myo-aponeurotic, and connective tissue structures, accounting for approximately 50% of tissue involvement, whereas isolated muscle fiber and tendon injuries were less common.

The most frequent MRI findings were intramuscular hematoma (72.7%), partial muscle rupture (68.2%), and aponeurotic or connective septum thickening (59.1%). Severe injuries, such as complete ruptures, were uncommon (13.6%). Associated sciatic nerve involvement was identified in 9.1% of structural injuries, exclusively in hamstring lesions.

Assessment of lesion extent showed that 45.5% involved 10–50% of the muscle cross-sectional area, while 31.8% exceeded 50%. Longitudinally, lesions measuring between 5 and 10 cm were the most frequent (40.9%).

MRI classification systems (UK Athletics, modified Peetrans, INSEP, and FC Barcelona-Aspetar-Duke) demonstrated a predominance of mild to moderate injuries, while also identifying a significant subgroup of severe lesions, particularly intratendinous injuries, known to be associated with prolonged RTP.

In conclusion, this study confirms the central role of MRI in the diagnosis, morphological characterization, and severity assessment of muscle injuries in elite football players. MRI allows detailed analysis of the injured structures, improves prognostic stratification, and represents an essential tool for optimizing medical management and guiding return-to-play decisions.

الملخص

تعد إصابات العضلات أحد الأسباب الرئيسية لتوقف لاعبي كرة القدم المحترفين عن ممارسة الرياضة، حيث تمثل نسبة كبيرة من الإصابات خلال الموسم. وتصيب هذه الإصابات بشكل أساسي عضلات الأطراف السفلية، ولا سيما عضلات الفخذ، التي تتعرض لضغط شديد أثناء المجهودات القوية والركض السريع وتغييرات الاتجاه. وهي تؤثر بشكل كبير على «Return To Play» (RTP) الأداء الرياضي، وعلى خطر تكرار الإصابة ومدة العودة إلى اللعب. هو الفحص المرجعي (IRM) وفي هذا السياق، أصبح التصوير بالرنين المغناطيسي (RTP) لتشخيص الإصابات العضلية لدى الرياضيين وتقييمها وتشخيصها.

كان الهدف من عملنا هو تقييم مساهمة التصوير بالرنين المغناطيسي في فحص إصابات العضلات في الأطراف السفلية لدى لاعبي كرة القدم المحترفين، ووصف الجوانب، السيمولوجية وفقاً للتصنيفات المختلفة المعترف بها في التصوير بالرنين المغناطيسي، ومقارنة نتائجنا بالبيانات الواردة في الأدبيات الدولية.

هذه دراسة وصفية مستقبلية، أجريت على مدى ستة أشهر في قسم الأشعة بمستشفى التابع لمركز الجامعي في مراكش. شملت الدراسة 37 لاعب كرة قدم محترفاً مغربياً، تتراوح أعمارهم بين 19 و34 عاماً، بمتوسط عمر $25,05 \pm 4,26$ عاماً. لوحظت غلبة الذكور (83,8%).

من الناحية السريرية، كانت 100% من الإصابات ذات أصل داخلي، وحدثت في الغالب أثناء المباريات (62,2%). كانت الآلام الحادة هي الأعراض الفورية الأكثر شيوعاً (56,8%). عند الفحص السريري، لوحظ ألم موضعي لدى 100% من اللاعبين، وشعور بتمزق عضلي لدى 89,2%، وتوقف عن ممارسة الرياضة لدى 67,6%. لوحظت كدمة سريرية في 27% من الحالات.

أجري التصوير بالرنين المغناطيسي في غضون 3 أيام في المتوسط بعد الإصابة، تم تحديد T2 STIR و DP Fat Sat و T1 باستخدام بروتوكول موحد يشمل تسلسلات إصابة هيكلية ملموسة لدى 59,5% من اللاعبين، بينما أظهر 40,5% منهم تصويراً بالرنين المغناطيسي من الدرجة 0 دون إصابة هيكلية مرئية. كانت الشذوذات السائدة في الإشارة هي الذي لوحظ في 56,8% من الحالات، T2 فرط إشارة.

من الناحية الطوبوغرافية، كانت عضلات الفخذ الخلفية هي المجموعة العضلية الأكثر تضرراً (35,1%)، تليها العضلات المقربة (27,0%)، والعضلات الرباعية (21,6%) وعضلات الساق (10,8%). بالنظر إلى الإصابات الهيكلية التي ظهرت في التصوير بالرنين المغناطيسي فقط، ظل هذا التوزيع مماثلاً، مع غلبة عضلات الفخذ (31,8%) والمقربة

شملت الإصابات في الغالب الهياكل اللفافية والعضلية اللفافية والضمامة، والتي (27.3%) تمثل حوالي 50% من مواقع الأنسجة، في حين كانت الإصابات العضلية والوترية البحتة أقل شيوعاً.

كانت الإصابات الأكثر شيوعاً هي الكدمات (72.7%) والتمزق الجزئي (68.2%) وسماكة اللفافة أو الحاجز الضام (59.1%). كانت الإصابات الشديدة، مثل التمزق الكامل نادرة وقد لوحظت إصابة مصاحبة في العصب الوريكي في 9.1% من الإصابات (13.6%) الهيكلية، حصرياً في منطقة عضلات الفخذ.

أظهر تقييم مدى الإصابة أن 45.5% من الإصابات شملت 10 إلى 50% من المقطع العرضي للعضلة، في حين تجاوزت 31.8% 50%. على المستوى الطولي، كانت الإصابات التي يتراوح طولها بين 5 و 10 سم هي الأكثر شيوعاً (40.9%).

أظهرت تصنيفات التصوير بالرنين المغناطيسي (UK Athletics، Peetrons) غلبة الإصابات الخفيفة إلى (FC Barcelona-Aspetar-Duke و INSEP، المعدلة المتوسطة، مع تحديد مجموعة فرعية لا يستهان بها من الإصابات الشديدة، لا سيما الإصابات داخل الأوتار، المعروفة بتأثيرها التنبؤي على مدة العودة إلى اللعب.

في الختام، تؤكد دراستنا الدور المركزي للتصوير بالرنين المغناطيسي في تشخيص وتوصيف شكل الإصابات العضلية وتقييم شدتها لدى لاعبي كرة القدم المحترفين. فهو يتيح تحليلاً دقيقاً للهياكل المصابة، وتصنيفاً تنبؤياً أفضل، ويشكل أداة لا غنى عنها لتحسين الرعاية الطبية الرياضية واتخاذ قرار العودة إلى ممارسة الرياضة.



FICHE D'EXPLOITATION

IRM des lésions musculaires du membre inférieur chez les footballeurs de haut niveau

1. Données d'identification

- Âge : ans
- Sexe : ☐ Masculin ☐ Féminin
- Latéralité dominante : ☐ Droitier ☐ Gaucher

2. Contexte clinique

Antécédents

- Antécédents médicaux généraux :
- Lésions musculaires antérieures : ☐ Oui ☐ Non
 - Si oui, préciser (muscle / côté / date) :
- Tendinopathies ou fractures antérieures : ☐ Oui ☐ Non
- Chirurgies antérieures : ☐ Oui ☐ Non
 - Si oui, préciser :
- Traitements en cours :
- Prise médicamenteuse :
 - ☐ Anti-inflammatoires ☐ Antalgiques ☐ Myorelaxants ☐ Autres :

Données sportives

- Niveau sportif : ☐ Élite ☐ National ☐ International
- Charge d'entraînement hebdomadaire : heures / semaine

3. Circonstances de survenue

- Date de la blessure :
- Contexte : ☐ Match ☐ Entraînement
- Type de traumatisme : ☐ Intrinsèque ☐ Extrinsèque
- Symptômes immédiats :
 - ☐ Douleur brutale ☐ Douleur à l'effort ☐ Autres :

4. Examen clinique initial

- Douleur localisée : ☐ Oui ☐ Non
 - Localisation :
- Sensation de claquage musculaire : ☐ Oui ☐ Non
- Œdème : ☐ Oui ☐ Non
- Hématome clinique : ☐ Oui ☐ Non
- Coloration bleuâtre cutanée : ☐ Oui ☐ Non

- Arrêt immédiat de l'activité sportive : ☐ Oui ☐ Non
 - Durée (minutes) :

5. Exploration par IRM

- Délai post-traumatique avant IRM : heures / jours

Séquences réalisées

- ☐ T1 axiale ☐ T1 coronale
- ☐ DP Fat Sat axiale ☐ DP Fat Sat coronale
- ☐ T2 STIR axiale ☐ T2 STIR coronale ☐ T2 STIR sagittale

6. TOPOGRAPHIE LÉSIONNELLE DÉTAILLÉE

A. LOGE POSTÉRIEURE – ISCHIO-JAMBIERS

- Côté atteint : ☐ Droit ☐ Gauche

Sièges lésionnels

☐ Tubérosité ischiatique

- ☐ Tendon conjoint
- ☐ Tendon semi-membraneux
- ☐ Enthèse osseuse

☐ Long biceps

- ☐ Tendon libre proximal
- ☐ JMT proximale
- ☐ JMT moyenne (intramusculaire)
- ☐ JMT distale (en T)
- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Aponévrose superficielle
- ☐ Tendon distal

☐ Court biceps

- ☐ Corps musculaire
- ☐ Aponévrose profonde
- ☐ Aponévrose périphérique
- ☐ JMT distale

- ☐ Tendon distal

☐ Semi-tendineux

- ☐ JMT proximale ☐ JMT distale
- ☐ Cloison centrale
- ☐ Ramifications conjonctives
- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Atteinte mixte
- ☐ Tendon distal

☐ Semi-membraneux

- ☐ Aponévrose proximale
- ☐ JMT proximale ☐ JMT distale
- ☐ Cloison centrale
- ☐ Ramifications conjonctives
- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Atteinte mixte
- ☐ Tendon distal
- ☐ Jonction myo-aponévrotique

Structures associées :

☐ Nerf sciatique ☐ Nerf tibial ☐ Aucune ☐ Autres :

B. LOGE ANTÉRIEURE – QUADRICEPS

- Côté atteint : ☐ Droit ☐ Gauche

☐ Droit fémoral

- ☐ Tendon direct
- ☐ Tendon indirect
- ☐ Tendon conjoint
- ☐ JMT proximale
- ☐ Fibres musculaires (partie moyenne)
- ☐ Aponévrose centrale
- ☐ Aponévrose périphérique
- ☐ Atteinte myo-fasciale
- ☐ JMT distale
- ☐ Tendon distal

☐ Vaste latéral

- ☐ JMT
- ☐ Aponévrose centrale
- ☐ Fibres musculaires

☐ Vaste médial

- ☐ JMT
- ☐ Aponévrose périphérique
- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Atteinte myo-fasciale

☐ Vaste intermédiaire

- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Aponévrose

C. LOGE ANTÉRO-INTERNE – ADDUCTEURS

- Côté atteint : ☐ Droit ☐ Gauche

☐ Long adducteur

- ☐ Tendon proximal
- ☐ JMT proximale
- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Cloison (aponévrose horizontale)
- ☐ Cloisons conjonctives
- ☐ Aponévrose périphérique

☐ Court adducteur

- ☐ JMT proximale
- ☐ Cloison
- ☐ Cloisons conjonctives
- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Atteinte myo-fasciale
- ☐ Aponévrose périphérique
- ☐ Aponévrose profonde

☐ Grand adducteur

- ☐ JMT proximale

- ☐ JMT distale
- ☐ Tendon distal
- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Cloison conjonctive
- ☐ Aponévrose périphérique

☐ Gracile

- ☐ JMT proximale
- ☐ JMT distale
- ☐ Fibres musculaires

☐ Ilio-psoas

- ☐ Tendon proximal
- ☐ JMT
- ☐ Tendon distal

☐ Sartorius

- ☐ Fibres musculaires
- ☐ JMT proximale

D. LOGE POSTÉRO-INFÉRIEURE – MOLLET

- Côté atteint : ☐ Droit ☐ Gauche

☐ Gastrocnémien médial ☐ latéral

- ☐ JMT proximale
- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Aponévrose centrale
- ☐ Aponévrose périphérique
- ☐ Atteinte myo-fasciale

☐ Soléaire

- ☐ Partie proximale
- ☐ Partie moyenne
- ☐ Cloison centrale
- ☐ Aponévrose postérieure
- ☐ Atteinte myo-fasciale

- ☐ JMT distale

☐ Plantaire grêle

- ☐ JMT
- ☐ Fibres musculaires
- ☐ Tendon

7. ANOMALIES IRM

Anomalies de signal

- ☐ Signal normal
- ☐ Hypersignal T2
- ☐ Hypersignal T2 isolé (DOMS)
- ☐ Hyposignal T2
- Désorganisation des fibres : ☐ Oui ☐ Non

Anomalies lésionnelles

- ☐ Avulsion
- ☐ Rupture partielle ☐ Rupture totale
- ☐ Rétraction
- ☐ Épaississement aponévrotique / cloison
- ☐ Décollement inter-aponévrotique
- ☐ Hématome
- ☐ Collection péri-aponévrotique
 - Taille :

8. ÉTENDUE DE LA LÉSION

- Section transversale : ☐ <10 % ☐ 10-50 % ☐ >50 %
- Extension longitudinale : ☐ <5 cm ☐ 5-10 cm ☐ >10 cm

9. CLASSIFICATIONS DES LÉSIONS

Classification Athlétisme Britannique (UK)

☐ 0 ☐ 0a ☐ 0b ☐ 1a ☐ 1b ☐ 2a ☐ 2b ☐ 2c ☐ 3a ☐ 3b ☐ 3c ☐ 4 ☐ 4c

Classification de Peetrans

☐ Grade 0 ☐ Grade 1 ☐ Grade 2 ☐ Grade 3

Classification INSEP

☐ Grade 0 ☐ Grade 1 ☐ Grade 2 ☐ Grade 3 ☐ Grade 4

Classification FC Barcelone – Aspetar – Duke

☐ Type 1a ☐ Type 1b ☐ Type 2a ☐ Type 2b ☐ Type 3a ☐ Type 3b

10. Observations complémentaires

.....

.....

.....

BIBLIOGRAPHIE

1. **Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M.**
Epidemiology of Muscle Injuries in Professional Football (Soccer). *Am J Sports Med.* 2011;39(6):1226–1232. n.d.
2. **Heiss R, Tol JL, Pogarell T, et al.**
Imaging of Muscle Injuries in Soccer. *Skeletal Radiol.* 2025;54:655–667. n.d.
3. **Guermazi A, Roemer FW, Crema MD.**
Imaging of Muscle Injuries in Sports Medicine: A Critical Review. *Br J Sports Med.* 2015;49(23):1489–1497. DOI : 10.1136/bjsports-2014-094152 n.d.
4. **Reurink G, et al.**
MRI Observations at Return to Play of Clinically Recovered Hamstring Injuries. *Am J Sports Med.* 2014;42(3):608–615. DOI : 10.1177/0363546513512778 n.d.
5. **Marrero L, Flores D, Opar D, et al.**
MRI and Ultrasound in Hamstring Sports Injury Assessment. *Radiology.* 2025;282(3):646–663. n.d.
6. **Guerini H, Montalvan B, Parier J, et al.**
L'IRM des lésions musculaires du sportif. *J Radiol Diagn Interv.* 2017;98(5):267–275. n.d.
7. **Avrillon S, et al.**
MRI of Myotendinous Junction Injuries. *Eur J Radiol.* 2019;113:29–38. DOI : 10.1016/j.ejrad.2019.01.018 n.d.
8. **Katagiri H, Forster BB, Engebretsen L, et al.**
Epidemiology of MRI-Detected Muscle Injury at Tokyo 2020. *Br J Sports Med.* 2023;57(1):15–22. DOI : 10.1136/bjsports-2021-104773 n.d.
9. **Ahmad CS, Tyler TF, Maldonado D, et al.**
Limitations of MRI Muscle Injury Classification Systems. *Eur J Radiol.* 2018;107:76–84. DOI : 10.1016/j.ejrad.2018.08.010 n.d.
10. **Moore KL, Dalley AF, Agur AMR.**
Anatomie clinique. Paris: De Boeck Supérieur; 2017. n.d.
11. **Standring S, editor.**
Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice. London: Elsevier; 2016. n.d.
12. **Drake RL, Vogl AW, Mitchell AWM.**
Gray's Anatomy for Students. Philadelphia: Elsevier; 2020. n.d.

13. **Netter FH.**
Atlas d'anatomie humaine. Paris: Elsevier Masson; 2014. n.d.
14. **Palastanga N, Soames R.**
Anatomie et mouvements humains: structure et fonction. Paris: Elsevier; 2012. n.d.
15. **Sarrafian SK.**
Anatomy of the Foot and Ankle: Descriptive, Topographic, Functional. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 1993. n.d.
16. **Standring S, Borley NR, éditeurs.**
Gray's anatomie pour les étudiants. 4e éd. Paris: Elsevier Masson; 2020. n.d.
17. **Neumann DA.**
Kinesiology of the Musculoskeletal System: Foundations for Rehabilitation. St. Louis: Mosby; 2017. n.d.
18. **Kapandji IA.**
Physiologie articulaire. Tome 2: Membre inférieur. Paris: Maloine; 2012. n.d.
19. **Isern-Kebschull J, et al.**
Sports-related lower limb muscle injuries. Insights Imaging. 2020;11:108. n.d.
20. **Grange S.**
IRM multiparamétrique des muscles ischio-jambiers [thèse de doctorat]. Saint-Étienne: Université Jean Monnet Saint-Étienne; 2023. 376 p. n.d.
21. **Entwisle T, et al.**
Distal musculotendinous T-junction injuries of the biceps femoris. Orthop J Sports Med. 2017 n.d.
22. **Saito M, Niga S, Suzuki K, Ikezawa Y, Tsukada S.**
Prognosis of incomplete avulsion of the proximal hamstring tendon is determined by the avulsion location of the proximal hamstring tendon footprint. Clin J Sport Med. 2019;29(6):e1-e7. DOI: 10.1097/JSM.0000000000000774. n.d.
23. **Woodley SJ, Mercer SR.**
Hamstring muscles: architecture and innervation. Cells Tissues Organs. 2005;179:125-141. n.d.

24. **Balius R, et al.**
Semimembranosus muscle injuries. *Sports Med Int Open*. 2017;1:E94–E100. n.d.
25. **Linklater JM, et al.**
Hamstring injuries: anatomy, imaging, intervention. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2010;14:131–161. n.d.
26. **Isern-Kebschull J, et al.**
Sports-related lower limb muscle injuries: pattern recognition approach and MRI review. *Insights Imaging*. 2020;11:108. n.d.
27. **Bucci G, et al.**
Hamstrings injuries with MRI findings in a Major League Soccer team. *Arch Orthop*. 2020;1(3):89–97. n.d.
28. **Plastow R, Raj RD, Fontalis A, Haddad FS.**
Quadriceps injuries: current concepts review. *Bone Joint J*. 2023;105–B(12):1244–1251. n.d.
29. **Armstrong T, Pass B, O'Connor P.**
The capsular head of the proximal rectus femoris muscle: a review of the imaging anatomy of proximal muscle injury in professional athletes – early experience. *British Journal of Radiology*. 2022;95(1136):20220278. doi:10.1259/bjr.20220278 n.d.
30. **Verrall GM, et al.**
Groin muscle architecture and injury patterns in athletes. *Sports Med*. n.d.
31. **Branci S, et al.**
Adductor magnus: MRI anatomy and injury patterns in athletes. *Insights Imaging*. n.d.
32. **Weir A, et al.**
Imaging evaluation of groin pain and adductor injuries. *Clin J Sport Med*. n.d.
33. **Balius R, et al.**
Soleus and gastrocnemius muscle injuries: MRI patterns and anatomical correlations. *Insights Imaging*. n.d.
34. **Taylor GI, Palmer JH.**
The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1987;79(4):575–594. doi:10.1097/00006534-198704000-00004. n.d.

35. **Grechenig W, Peicha G, Tschabitscher M.**
Clinical Anatomy of the Veins. Vienna: Springer; 2001. n.d.
36. **Sunderland S.**
Nerves and Nerve Injuries. London: Churchill Livingstone; 1978. n.d.
37. **Lieber RL, Fridén J.**
Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. Muscle Nerve. 2000;23(11):1647–1666. n.d.
38. **Tidball JG.**
Force transmission across muscle cell membranes. J Biomech. 1991;24(Suppl 1): n.d.
39. **Purslow PP.**
Muscle fascia and force transmission. J Muscle Res Cell Motil. 2010;31(3):141–155. n.d.
40. **Magnusson SP, Narici MV, Maganaris CN, Kjaer M.**
Human tendon behaviour and adaptation in vivo. J Physiol. 2008;586(1):71–81. n.d.
41. **Schache AG, Dorn TW, Wrigley TV, Pandy MG.**
Stretch and activation of the human biarticular hamstrings during running. Sports Biomech. 2013;12(4):493–512. n.d.
42. **Kjaer M.**
Role of extracellular matrix in adaptation of tendon and skeletal muscle to mechanical loading. Scand J Med Sci Sports. 2004;14(5):268–275. n.d.
43. **Tong S, Sun Y, Kuang B, Wang M, Chen Z, Zhang W, Chen J.**
A comprehensive review of muscle–tendon junction: structure, function, injury and repair. Int J Mol Sci. 2023;24(3):2686. doi:10.3390/ijms24032686. n.d.
44. **Opar DA, Williams MD, Shield AJ.**
Hamstring strain injuries: factors that lead to injury and re-injury. Sports Med. 2012;42(3):209–226. n.d.
45. **Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, et al.**
Risk factors for injuries in football. Am J Sports Med. 2004;32(Suppl 1):S5–S16. n.d.

46. **Jokela A, Mechó S, Pasta G, Pleshkov P, García-Romero-Pérez A, Mazzoni S, et al.**
Indirect rectus femoris injury mechanisms in professional soccer players: video analysis and magnetic resonance imaging findings. *Clin J Sport Med.* 2023;33(5):475–482. doi:10.1097/JSM.0000000000001131 n.d.
47. **Garrett WE Jr.**
Muscle strain injuries: clinical and basic aspects. *Am J Sports Med.* 1996 n.d.
48. **Orchard J.**
Intrinsic and extrinsic risk factors for muscle strains in sport. *Sports Med.* 2002;32:85–94. n.d.
49. **Schache AG, Dorn TW, Blanch PD, et al.**
Mechanics of the human hamstring muscles during sprinting. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:647–658. n.d.
50. **Sides D.**
Kinematics and kinetics of maximal velocity sprinting and specificity of training in elite athletes. University of Salford; 2015. n.d.
51. **Mendiguchia J, Brughelli M.**
A return-to-sport algorithm for acute hamstring injuries. *Sports Med.* 2013;43:525–545. n.d.
52. **Di Pietto F, Rusconi G, Del Grande F, et al.**
MR imaging of muscle injury of lower limb in professional athletes. *J Med Imaging Interv Radiol.* 2025. n.d.
53. **Brukner P, Khan K.**
Clinical Sports Medicine. 5th ed. McGraw-Hill; 2020. n.d.
54. **Brophy RH, Backus SI, Pansy BS, Lyman S, Williams RJ.**
Lower extremity muscle activation and alignment during the soccer instep and side-foot kicks. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007;37(5):260–268. doi:10.2519/jospt.2007.2255. n.d.
55. **Flores DV, Mejía Gómez C, Estrada-Castrillón M, Smitaman E, Pathria MN.**
MR imaging of muscle trauma: anatomy, biomechanics, pathophysiology, and imaging appearance. *RadioGraphics.* 2018;38(1):124–148. doi:10.1148/rg.2018170072. n.d.
56. **Ekstrand J, Timpka T, Häggglund M.**
Risk of injury in elite football. *Br J Sports Med.* 2006;40:975–980. n.d.

57. **Balius R, Pedret C, et al.**
Muscle injuries: MRI-based classification. *Br J Sports Med.* 2020 n.d.
58. **Dellal A, Wong DP, Kellmann M, et al.**
Relationship between training load and injury in elite soccer players. *J Sports Sci.* 2015;33:1600–1608. n.d.
59. **Ekstrand J, Hägglund M, Waldén M.**
Injury incidence and injury patterns in professional football: the UEFA injury study. *Br J Sports Med.* 2011 n.d.
60. **Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, et al.**
Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med.* 2008;36:469–475. n.d.
61. **Pedret C, Balius R, et al.**
Hamstring muscle injuries: MRI and prognosis. *J Sci Med Sport.* 2015;18:607–612. n.d.
62. **Cheuvront SN, Kenefick RW.**
Dehydration: Physiology, assessment, and performance effects. *Compr Physiol.* 2014 n.d.
63. **Guerhazi A, Roemer FW, Crema MD, et al.**
Imaging of muscle injuries in sports medicine: Sports Imaging Series. *Skeletal Radiol.* 2017;46:1–17. n.d.
64. **Ahmad G, Pedret C, Naqvi W, Bhatti WA.**
Rectus femoris: from imaging anatomy to diagnosing injuries. *Aspetar Sports Medicine Journal.* 2025;14:Targeted Topic 35 – Imaging in Sports Medicine. n.d.
65. **Siedi AF, Rolon AU, Bernard N, Bernasconi J, Palmas M, Couto DA, Pascual TA.**
Posterior leg pain: understanding soleus muscle injuries. *Radiographics.* 2021;41(6):1763–1782. n.d.
66. **Pezzotta G, Pecorelli A, Querques G, Biancardi S, Morzenti C, Sironi S.**
MRI characteristics of adductor longus lesions in professional football players and prognostic factors for return to play. *Eur J Radiol.* 2018;108:52–58. doi:10.1016/j.ejrad.2018.09.018. n.d.

67. **Schilders E, Mitchell AWM, Johnson R, Dimitrakopoulou A, Kartsonaki C, Lee JC.**
Proximal adductor avulsions are rarely isolated but usually involve injury to the pyramidalis–anterior pubic ligament–adductor longus complex: descriptive MRI findings in 145 athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(8):2424–2436. doi:10.1007/s00167-020-06180-5. n.d.
68. **Isern-Kebschull J, Mechó S, Pedret C, et al.**
MRI findings prior to return to play as predictors of reinjury in professional athletes. *Insights Imaging.* 2022;13:63. n.d.
69. **Binkert OA, Pfirrmann CWA, Fierstra S, Higashigaito K, Roszkopf AB.**
Classification systems for assessing acute muscle injuries: a retrospective comparison of inter-reader agreements. *Skeletal Radiol.* 2025. doi:10.1007/s00256-025-04988-1. n.d.
70. **Lee JC, Mitchell AWM, Healy JC.**
Imaging of muscle injury in the elite athlete. *Br J Radiol.* 2012;85(1016):1173–1185. n.d.
71. **Sergot L, Kho J, Chakraverty J, et al.**
MRI classification of calf muscle injuries and correlation with return to play. *Skeletal Radiol.* 2022;51:147–156. n.d.

قسم الطبيب

أقسم بالله العظيم

أن أراقب الله في مهنتي

وأن أصون حياة الانسان في كافة أطوارها في كل الظروف والأحوال

باذلة وسعي في إنقاذها من الهلاك والمرض والألم والقلق

وأن أحفظ للناس كرامتهم واستر عورتهم وأكتم سرهم

وأن أكون على الدوام من وسائل رحمة الله

باذلة رعايتي الطبية للقريب والبعيد والصالح والطالح والصديق والعدو

وأن أثابر على طلب العلم وأسخره لنفع الانسان لا لأذاه

وأن أوقر من علمني وأعلم من يصغرني

وأكون أختا لكل زميل في المهنة الطبية متعاونين على البر والتقوى

وأن تكون حياتي مصداق إيماني في سري وعلاانيتي

نقية مما يشينها تجاه الله ورسوله والمؤمنين

والله على ما أقول شهيد

التصوير بالرنين المغناطيسي لإصابات العضلية
بالطرف السفلي
لدى لاعبي كرة القدم من المستوى العالي
أطروحة

قدمت ونوقشت علانية يوم 2026/01/13

من طرف

الآنسة جود أميمة

المزادة في 24 شتنبر 2000 بالداخلية

لنيل شهادة الدكتوراه في الطب

الكلمات الأساسية:

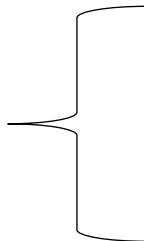
التصوير بالرنين المغناطيسي - إصابات عضلية - الطرف السفلي - لاعبو كرة القدم
ذو المستوى العالي - تصنيف الإصابات بالرنين المغناطيسي

اللجنة

الرئيس

المشرفة

الحكام



ب. شغار

أستاذ في جراحة العظام و المفاصل

م. والي إدريسي

أستاذة في الفحص بالأشعة

ن. شريف إدريسي الكانوني

أستاذة في الفحص بالأشعة

ر. شفيق

أستاذ في جراحة العظام و المفاصل

ب. بوتاكوت

أستاذ في الفحص بالأشعة

السيد

السيدة

السيدة

السيد

السيد

