Машин сургалтын загвар ашиглан мэргэжлийн сагсан бөмбөгчдийн гүйцэтгэл, физиологийн суурь үзүүлэлтийг бэртлийн эрсдэлтэй холбон судалсан дүн

М.Жадамба[1], М.Халиун[1], Д.Сарангэрэл[1], Ч.Өсөхбаяр[1], Д.Цэцэгдолгор[1], Б.Бүрэнжаргал[1], О.Одбаясгалан[4], Б.Баасанжаргал[1], Б.Ганзориг[2], Г.Отгон[1], Э.Мөнхсоёл[1]

[1]Физиологийн тэнхим, Био-Анагаахын сургууль, АШУҮИС
[2]Спортын Анагаах Ухаан Эрдэм Шинжилгээний Төв
[3]Омни Эрдэнэт Менирс клуб
[4]Шинжлэх Ухаан Технологийн Их Сургууль
Цахим шуудан: jadamba.m@mnums.edu.mn, Утас: 99559403

Түлхүүр үг:
Кондишнинг бэлтгэл
Анаэроб хүчин чадал
Биеийн бүтэц,
Ачаалал

Товч утга:
Үндэслэл: Сагсан бөмбөг нь өндөр эрчимтэй, давтамж ихтэй тэсрэх хөдөлгөөн давамгайлсан спорт тул анаэроб хүчин чадал, биеийн бүтэц болон нөхөн сэргэлт нь гүйцэтгэлд шууд нөлөөлдөг. Гэвч Монголын мэргэжлийн тамирчдад кондишнинг бэлтгэл, анаэроб хүчин чадал болон биеийн бүтцийн уялдаа холбоог өгөгдөлд суурилан судалсан ажил хомс бөгөөд машин сургалтын аргаар гэмтлийн эрсдэлийг үнэлсэн судалгааны нотолгоо хангалтгүй хэвээр байна. **Зорилго:** Мэргэжлийн сагсан бөмбөгчдийн кондишнинг бэлтгэлжилт, анаэроб хүчин чадал болон биеийн бүтцийн үзүүлэлтүүд хоорондын хамаарлыг тодорхойлж эдгээрт суурилсан машин сургалтын таамаглалын загвар боловсруулах. **Арга, аргачлал:** “Омни Эрдэнэт Майнерс” багийн 21–28 насны 11 мэргэжлийн тамирчны биеийн бүтцийг InBody 970, анаэроб хүчин чадлыг Wingate 30 секундийн тестээр (Monark 894E) гурван үе шатанд хэмжив. Өөрчлөлтийг Friedman, Wilcoxon тестээр, хамаарлыг Pearson корреляци ба регрессээр үнэлж, Random Forest болон бусад регрессийн загвараар гэмтлийн эрсдэлийг таамаглав. **Үр дүн:** Фазын өнцөг 6.8±0.5-аас 7.3±0.6° хүртэл нэмэгдэж ($p=0.021$), өөхлөлтийн хувь 20.5±3.2%-иас 16.2±2.0% хүртэл буурсан ($p=0.015$), харин булчингийн масс өөрчлөгдөөгүй. Оргил болон дундаж анаэроб хүч статистикийн хувьд ач холбогдолтойгоор нэмэгдсэн ($p<0.05$) бөгөөд өөхлөлт ба хүчний хооронд сөрөг хамаарал илэрсэн. Random Forest шинжилгээгээр фазын өнцөг, дотор өөх, өөхлөлтийн хувь болон хүчний уналт нь гэмтлийн эрсдэлийн хамгийн чухал урьдчилан таамаглах үзүүлэлтүүд байв. Дүгнэлт: 1. Мэргэжлийн сагсан бөмбөгийн тамирчдын биеийн бүтэц нь анаэроб гүйцэтгэл, сэргэлтийн үзүүлэлтүүдтэй уялдаатай байсан бөгөөд биеийн өөхний хувь, төвийн өөхлөлт ихсэх нь анаэроб хүчин чадал буурах хандлагатай байв. 2. Булчингийн массыг хадгалсан нөхцөлд өөхлөлтийг бууруулах нь анаэроб гүйцэтгэлд сөрөг нөлөө үзүүлэхгүй бөгөөд гүйцэтгэл, ачаалал даах болон сэргэлтийн зохицуулалтыг сайжруулах боломжийг харуулна. 3. Биеийн бүтэц болон анаэроб хүчин чадлын үзүүлэлтүүдэд суурилсан Random Forest Regression загвар нь гүйцэтгэлийн бууралтын болон гэмтлийн эрсдэлийг өндөр нарийвчлалтай таамаглах чадвартай болохыг нотлов.

Үндэслэл: Сагсан бөмбөг нь богино хугацаанд олон удаа давтагдах огцом хурдлах, чиглэл өөрчлөх, өндөр эрчимтэй тэсрэх хөдөлгөөн шаарддаг багийн спорт бөгөөд эдгээр үйлдлүүд нь ихэвчлэн анаэроб энергийн системд тулгуурладаг.[1,2] Иймээс тамирчны анаэроб хүчин чадал, бодисын солилцооны үр ашиг, түүнчлэн биеийн бүтцийн үзүүлэлтүүд болох булчингийн масс, өөхлөлтийн хувь болон сегменталь хүчний тархалт

нь тоглолтын гүйцэтгэлд чухал нөлөөтэй.[3,4] Ялангуяа булчингийн масс болон өөхлөлтийн түвшин нь тэсрэх хүч, хурд, талбай дээрх хөдөлгөөний идэвхийг тодорхойлох физиологийн чухал хүчин зүйлсийн нэг бөгөөд эдгээр үзүүлэлтүүд хоорондоо нягт уялдаатай байдаг.[5] Кондишнинг бэлтгэл нь тамирчны ачаалал даах чадвар, сэргэлтийн хурд, богино зайд гүйцэтгэх чадвар болон тэсрэх хүчийг хөгжүүлэхэд чиглэсэн дасгалын хослол бөгөөд анаэроб хүчин чадлыг үр дүнтэй нэмэгдүүлэхэд чиглэдэг.[5-7] Ийм бэлтгэл нь тоглолтын өндөр эрчимтэй ачааллын үед гүйцэтгэлийг хадгалах, ядралтыг хянах, улмаар гэмтлийн эрсдэлийг бууруулахад чухал ач холбогдолтой болохыг судлаачид онцолсон байна.[6,7] Гэсэн хэдий ч Монголын мэргэжлийн сагсан бөмбөгийн тамирчдын хувьд кондишнинг бэлтгэл, анаэроб хүчин чадал болон биеийн бүтцийн үзүүлэлтүүдийн уялдаа холбоог нэг дор авч үзсэн, өгөгдөлд суурилсан судалгаа хязгаарлагдмал хэвээр байна. Сүүлийн жилүүдэд спортын шинжлэх ухаанд олон хувьсагч бүхий физиологийн өгөгдлийг машин сургалтын аргуудаар боловсруулан тамирчдын гүйцэтгэл, ачааллын эрсдэл болон сэргэлтийн динамикийг үнэлэх чиглэл эрчимтэй хөгжиж байна. Иймд машин сургалтад суурилсан энэхүү арга зүй нь кондишнинг бэлтгэлийн үнэлгээ, ачааллын менежмент болон гүйцэтгэлийн шинжилгээг илүү нарийвчлалтай хэрэгжүүлэх боломжийг бүрдүүлж байгаа тул энэхүү судалгааны ажлыг хийх үндэслэл болж байна.[8-10]

Зорилго: Мэргэжлийн сагсан бөмбөгчдийн кондишнинг бэлтгэлжилт, анаэроб хүчин чадал болон биеийн бүтцийн үзүүлэлтүүд хоорондын хамаарлыг тодорхойлж эдгээрт суурилсан машин сургалтын таамаглалын загвар боловсруулах.

Зорилт:

1. Мэргэжлийн сагсан бөмбөгийн тамирчдын биеийн бүтэц, анаэроб гүйцэтгэл болон физиологийн суурь үзүүлэлтүүдийг тодорхойлох.
2. Кондишнинг бэлтгэлийн дараах биеийн бүтцийн болон анаэроб хүчин чадал эдгээрийн хоорондын хамаарлыг үнэлж, харьцуулах.
3. Машин сургалтын загвар ашиглан тамирчдын биеийн бүтэц, физиологийн үзүүлэлт, гүйцэтгэл болон бэртлийн эрсдэлийн хамаарлыг тодорхойлон урьдчилан таамаглах загвар боловсруулах.

Арга, аргачлал: Судалгааг туршилт-сорилын болон өгөгдөлд суурилсан аналитик аргыг хослуулан 12 долоо хоногийн хугацаанд зохион байгуулж, Монголын мэргэжлийн сагсан бөмбөгийн “Омни Эрдэнэт Майнерс” багийн 21–28 насны, харьцангуй эрүүл, тогтмол бэлтгэлтэй 11 тамирчныг сайн дурын үндсэн дээр хамруулав. Сүүлийн гурван сард гэмтэл авсан, архаг өвчтэй, зүрх-судас болон амьсгалын тогтолцооны эмгэгтэй, эсвэл бэлтгэлийн хоцрогдолтой тамирчдыг хассан.

Бэлтгэлийн хөтөлбөрийг долоо хоногт 3–5 өдөр хэрэгжүүлж, халаалт, хурд-авхаалж, өндөр эрчимтэй кондишнинг интервал болон нөхөн сэргээлтийн хэсгүүдийг багтаав. Үнэлгээг бэлтгэлийн эхэнд, дунд болон төгсгөлд гурван үе шаттайгаар гүйцэтгэв. Биеийн бүтцийг InBody 970, анаэроб хүчин чадлыг Monark 894E төхөөрөмжөөр Wingate 30 секундийн тест ашиглан хэмжив. Бүх хэмжилтийг бэлтгэл болон тоглолтоос 48 цагийн өмнө авсан.

Гурван үе шатны өөрчлөлтийг Friedman тестээр, ач холбогдолтой ялгааг Wilcoxon хосолсон шинжилгээгээр баталгаажуулсан. Хувьсагчдын хоорондын уялдааг Pearson корреляци**,** олон хүчин зүйлийн нөлөөг олон хувьсагчийн регрессийн загвараар үнэлсэн.

Тамирчдын гэмтлийн эрсдэлийг таамаглах зорилгоор биеийн бүтцийн болон анаэроб гүйцэтгэлийн үзүүлэлтүүдэд суурилсан Random Forest, Multiple Linear, Ridge, Lasso болон Polynomial Regression загваруудыг боловсруулав. Жижиг түүврийн (n=11) хязгаарлалтыг бууруулахын тулд data augmentation (noise injection, SMOTE, bootstrapping, mix-up, интерполяци) аргуудыг ашиглаж, загваруудын гүйцэтгэлийг cross-validation-аар үнэлэн overfitting-ийг хянав.

Үр дүн: Судалгаанд хамрагдагсдын дундаж нас 23.64±2.20 жил, дундаж өндөр 189.68±9.21 см, биеийн жин 94.38±21.90 кг байв. Биеийн жингийн индекс (BMI) дунджаар 26.73±4.12 кг/м² байсан нь судалгаанд хамрагдсан тамирчдын дунд илүүдэл жинтэй байх хандлага тодорхой түвшинд байгааг илтгэнэ. Бүсэлхий–ташааны харьцаа (WHR) 0.91±0.07 байсан нь өөхлөлт ихэвчлэн хэвлийн хэсэгт төвлөрөх хандлагатай байна. Мөн оролцогчид сагсан бөмбөгийг дунджаар 4.5±1.1 жил тоглосон бөгөөд энэ нь дунд зэргийн тоглолтын туршлагатай залуу тамирчдаас бүрдэж байгааг харуулж байна.

Судалгаанд хамрагдсан мэргэжлийн сагсан бөмбөгийн тамирчдын биеийн бүтцийн болон анаэроб гүйцэтгэлийн үзүүлэлтүүдийг олон улсын мэргэжлийн тамирчдын норматив утгатай харьцуулсан байдал. Үзүүлэлт бүрийг Z-score болон перцентилээр илэрхийлж, тухайн тамирчдын биеийн бүтэц болон гүйцэтгэлийн түвшинг харьцуулан үнэлэв. (Хүснэгт 1, 2)

Хүснэгт 1. Биеийн бүтцийн үзүүлэлтүүдийг олон улсын мэргэжлийн тамирчдын нормативтай харьцуулсан байдал

Үзүүлэлт	Туршилт 1	Норматив	Z-оноо	Перцентиль
Фазын өнцөг	6.84±0.44	7.2±0.5	−0.72	24%
Биеийн өөхний хувь (%)	20.51±4.43	13±3	2.2	98%
Араг ясны булчингийн масс (кг)	44.6±7.1	46±6	−0.49	31%
Дотор өөх (см²)	83.6±45.1	60±20	1.18	88%
Биеийн ус (л)	54.9±9.0	58±6	−0.52	30%
Бүсэлхий ташааны харьцаа (WHR)	0.909±0.07	0.88±0.04	0.72	76%
Биеийн жингийн индекс (кг/м²)	26.7±4.1	24±2	0.68	75%
Их биеийн булчингийн масс (кг)	32.5±4.8	34±5	−0.30	38%

Тайлбар: *Өөхний хувь болон дотор өөх өндөр, харин фазын өнцөг, булчингийн масс, биеийн ус бага байгаа нь эсийн чанар, булчингийн төлөв ба сэргэлтийн чадамж харьцангуй сул байгааг илтгэнэ.*

Хүснэгт 2. Анаэроб гүйцэтгэлийн үзүүлэлтүүдийг олон улсын мэргэжлийн тамирчдын нормативтай харьцуулсан байдал

Үзүүлэлт	Туршилт 1	Норматив	Z-оноо	Перцентиль
Дээд хүч (W)	951± 140	1100±150	−0.99	16%
Дундаж хүч (W)	741± 49	800±80	−0.74	23%
Хамгийн бага хүч (W)	512±85	520±70	−0.11	46%
Хүчний уналт (%)	48.96±9.83	45±10	0.4	66%
Дээд хүчид хүрэх хугацаа (мс)	3950±933	3000±600	1.58	94%

Тайлбар: *Дээд болон дундаж хүчний доогуур перцентиль, мөн дээд хүчид хүрэх хугацаа их байгаа нь тэсрэх хүч болон мэдрэл-булчингийн идэвхжил сул байгааг илтгэнэ.*

Бид 12 долоо хоногийн кондишнинг бэлтгэлийн нөлөөг тамирчдын биеийн бүтэц болон бодисын солилцооны үзүүлэлтүүдэд гурван үе шаттай (эхний, дунд, эцсийн) хэмжилтээр үнэлэв. (Хүснэгт 3)

Хүснэгт 3. Биеийн бүтцийн үзүүлэлтүүдийн 12 долоо хоногийн өөрчлөлт

Үзүүлэлт	Туршилт 1	Туршилт 2	Туршилт 3	Friedman χ^2 (p)	Wilcoxon (T1–T2 • T1–T3 • T2–T3)
Фазын өнцөг	6.84±0.44	6.96±0.48	7.30±0.56	7.68 (0.021)	0.172 • 0.021 • 0.041
Биеийн өөхний хувь (%)	20.51±4.43	18.20±4.50	16.40±3.31	13.55 (0.0011)	0.0156 • 0.0156 • 0.0277
Араг ясны булчингийн масс (кг)	44.6±7.13	44.23±6.03	44.16±6.50	1.23 (0.540)	0.938 • 0.469 • 0.225
Дотор өөх (см²)	83.58±45.10	76.87±39.96	65.96±31.81	13.55 (0.0011)	0.0156 • 0.0156 • 0.0273
Биеийн ус (л)	55.61±9.01	56.17±7.70	57.02±8.13	7.20 (0.028)	0.063 • 0.028 • 0.173
Бүсэлхий–ташааны харьцаа (WHR)	0.909±0.076	0.889±0.071	0.866±0.05	12.00 (0.0024)	0.0422 • 0.0156 • 0.0422
Биеийн жингийн индекс (кг/м²)	26.73±4.12	26.40±3.35	25.91±3.10	4.38 (0.112)	0.375 • 0.173 • 0.058
Их биеийн булчингийн масс (кг)	32.51±4.80	32.46±3.91	32.51±4.25	0.96 (0.618)	0.813 • 0.688 • 0.833

Тайлбар: *Фазын өнцөг, өөхлөлтийн хувь, дотор өөх, биеийн ус болон бүсэлхий–ташааны харьцаанд статистикийн ач холбогдолтой өөрчлөлт илэрсэн бол ($p<0.05$), араг ясны болон их биеийн булчингийн масс, BMI-д мэдэгдэхүйц өөрчлөлт ажиглагдаагүй байна.*

12 долоо хоногийн кондишнинг бэлтгэлийн дараах анаэроб гүйцэтгэлийн өөрчлөлтийг Т1 ба Т3 үе шатны Wingate тестийн үзүүлэлтүүдээр үнэлэв (Хүснэгт 4).

Хүснэгт 4. Анаэроб гүйцэтгэлийн үзүүлэлтүүдийн T1–T3 хоорондын өөрчлөлт

Үзүүлэлт	Туршилт 1	Туршилт 3	Өөрчлөлт (T1→T3)	P-утга
Дээд хүч (W)	951±140	1021±126	+70 W	0.043
Дундаж хүч (W)	741±49	799.8±55	+58.8 W	0.041
Хамгийн бага хүч (W)	512±85	491±123	−21 W	0.048
Хүчний уналт (%)	48.96±9.83	51.95±10.70	2.99%	0.247
Дээд хүчид хүрэх хугацаа (мс)	3950±933	3173±1719	−777 мс	0.009

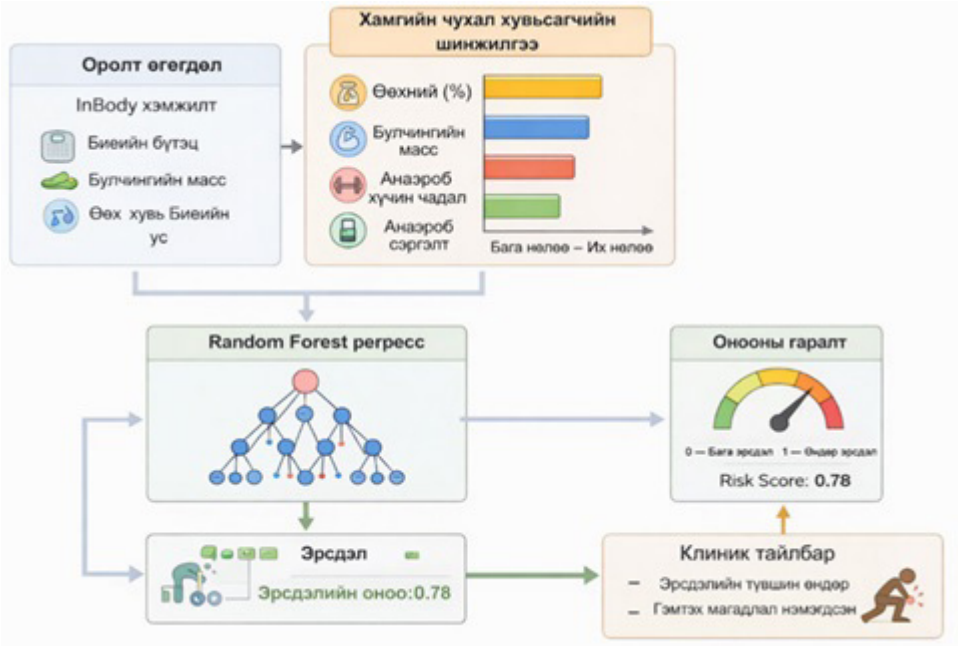
Тайлбар: *Дээд болон дундаж хүч, мөн дээд хүчид хүрэх хугацаанд статистикийн ач холбогдолтой сайжрал илэрсэн бол ($p<0.05$), хүчний уналтад мэдэгдэхүйц өөрчлөлт ажиглагдаагүй байна.*

Хүснэгт 5. Биеийн өөхний хувь ба анаэроб хүчин чадлын өөрчлөлтийн харьцуулалт

Үзүүлэлт	Туршилт 1	Туршилт 3	Өөрчлөлт (T1→T3)	Δ Өөхлөлтийн хувь Pearson r (p)
Дээд хүч (W)	951±142	964±138	+13 W ↑	r =−0.46 (p < 0.05)
Дундаж хүч (W)	741±52	752±57	+11 W ↑	r =−0.41 (p < 0.05)
Хамгийн бага хүч (W)	512±88	475±121	−37 W ↓	r =−0.12 (p = 0.28)
Хүчний уналт (%)	48.9±9.8	51.9±10.7	+3.0% ↑	r =+0.18 (p > 0.05)
Дээд хүчид хүрэх хугацаа (мс)	3950±940	3173±1715	−777 мс ↓	r =−0.09 (p > 0.05)

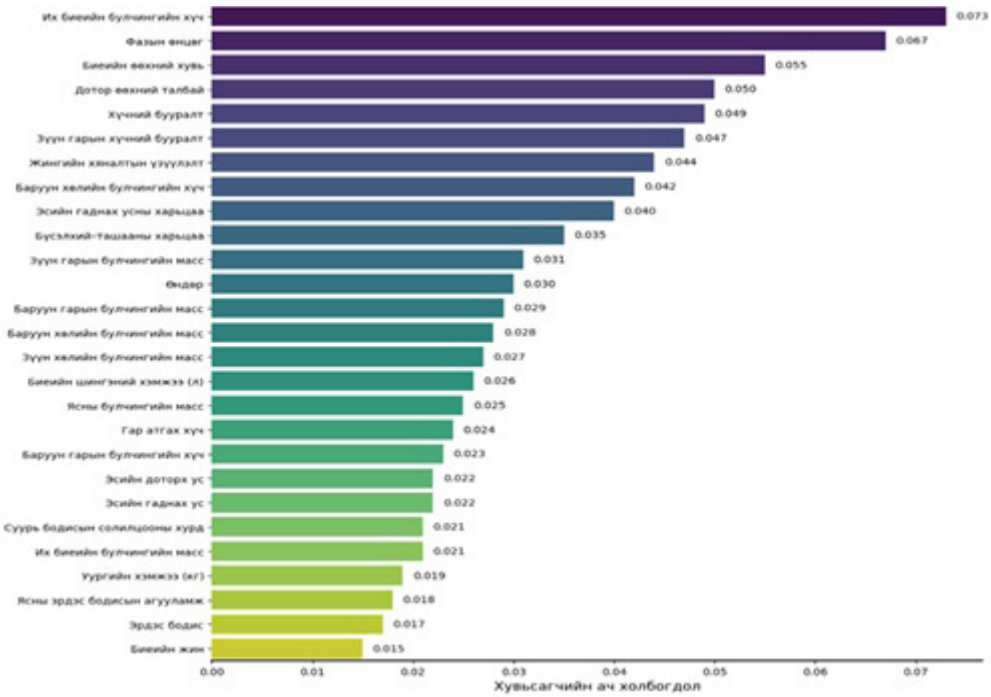
Тайлбар: *Дээд болон дундаж хүч нь өөхлөлтийн бууралтад сөрөг хамааралтай байсан нь өөх багасах үед анаэроб гүйцэтгэл буурахгүй, харин хадгалагдах эсвэл сайжрах хандлагатайг илтгэнэ.*

Тамирчдын InBody болон анаэроб гүйцэтгэлийн үзүүлэлтүүдэд үндэслэн эрсдэлийн түвшинг таамаглах зорилгоор Random Forest, Simple Linear, Multiple Linear, Ridge, Lasso болон Polynomial регрессийн загваруудыг боловсруулж, тэдгээрийн гүйцэтгэлийг R^2, MAE, RMSE үзүүлэлтүүдээр үнэлэв. Эдгээрээс Random Forest Regression нь хамгийн өндөр нарийвчлалтай байж, тестийн өгөгдөл дээр R^2=0.99, MAE=0.044, RMSE=0.0083 үзүүлсэн.



Зураг 1. Тамирчдын гэмтлийн эрсдэлийг таамаглах Random Forest загвар

Random Forest Regression загварыг ашиглан InBody-ийн биеийн бүтцийн үзүүлэлтүүд болон анаэроб гүйцэтгэлийн параметрүүдийн тамирчны эрсдэлийн түвшинд үзүүлэх нөлөөг feature importance шинжилгээгээр үнэлэв. (Зураг 2)



Зураг **2. Тамирчны гэмтэх эрсдэлийг тодорхойлоход нөлөөлөх физиологийн болон гүйцэтгэлийн үзүүлэлтүүд**

Тайлбар*: Булчингийн хүч болон фазын өнцөг буурах, биеийн өөхний хувь, дотор өөхлөлт болон анаэроб хүчний уналт ихсэх нь тамирчны гэмтэх эрсдэл нэмэгдүүлдэг болохыг энэхүү шинжилгээ харуулав.*

Хэлцэмж: Энэхүү судалгаа нь Монголын мэргэжлийн сагсан бөмбөгийн тамирчдын биеийн бүтэц, анаэроб гүйцэтгэл болон кондишнинг бэлтгэлийн физиологийн хариу урвалыг олон улсын тамирчдын нормативтай харьцуулан үнэлсэн цогц судалгаануудын нэг юм. Үр дүнгээс харахад Монгол тамирчдын физиологийн үзүүлэлтүүд олон улсын түвшнээс доогуур байсан ч, шинжлэх ухаанд суурилсан кондишнинг бэлтгэлээр богино хугацаанд бодитой сайжруулах боломжтойг харууллаа. Тамирчдын биеийн өөхний хувь, дотор өөх болон бүсэлхий–ташааны харьцаа олон улсын хэвийн түвшнээс өндөр, харин фазын өнцөг (6.84°) элит тамирчдын 7.3–7.9°-ийн түвшнээс доогуур байсан нь эсийн чанар, булчингийн төлөв болон сэргэлтийн чадамж сул байгааг илтгэнэ.[7,19] Фазын өнцөг багатай байх нь гэмтэл болон хэт ачааллын эрсдэлийг нэмэгдүүлдэг талаар өмнөх судалгаанууд мөн дурдсан байдаг.[14,17] Анаэроб гүйцэтгэлийн хувьд Монгол тамирчдын дээд болон дундаж хүч олон улсын нормативын 16–23%, харин оргил хүчинд хүрэх хугацаа 94% багтаж байсан нь тэсрэх хүч болон төв мэдрэлийн идэвхжил харьцангуй сул байгааг харуулж байна.[4,13]

12 долоо хоногийн кондишнинг бэлтгэлийн дараах өөхлөлт, дотор өөх, фазын өнцөг болон WHR-ийн статистикийн ач холбогдолтой сайжрал нь өндөр эрчимтэй кондишнингийн үр нөлөөг харуулсан олон улсын судалгаатай нийцэж байна.[6,12] Булчингийн масс өөрчлөгдөөгүй нь улирлын дунд үеийн (in-season) кондишнинг бэлтгэл нь гүйцэтгэлийг хадгалах, гэмтлээс сэргийлэхэд чиглэдэг загвартай дүйж байна.[11] Өөхний хувийн бууралтад дээд болон дундаж хүч сөрөг хамааралтай байсан нь жингийн зохистой бууралт нь харьцангуй хүч болон механик үр ашгийг нэмэгдүүлдэг гэсэн "relative power" загвартай дүйж байна.[15,16] Random Forest загварын өндөр нарийвчлал нь гэмтлийн эрсдэл нь фазын өнцөг, өөхлөлт, анаэроб хүчин чадал болон ядрал зэрэг олон физиологийн хувьсагчийн нийлмэл нөлөөнөөс хамаардаг болохыг харуулж, гэмтэл нь олон хүчин зүйлийн гаралтай байдаг гэсэн орчин үеийн үзэл баримтлалтай дүйж байна.[20] Гэсэн хэдий ч судалгаанд оролцогчдын хэмжээ бага (n11), судалгаа нэг баг, нэг улирлаар хязгаарлагдсан, мөн хоол тэжээл, нойр, сэтгэлзүйн стрессийг хянаагүй зэрэг нь үр дүнг ерөнхийлөх чадварыг хязгаарлаж болзошгүй. Цаашдын судалгаанд олон баг, олон улирлыг хамарсан урт хугацааны когорт дизайн ашиглаж, Зүрхний цохилтын хэлбэлзэл, гормоны төлөв болон бодит гэмтлийн тохиолдлуудыг нэгтгэсэн машин сургалтын загвар хөгжүүлэх шаардлагатай.

Дүгнэлт:

1. Мэргэжлийн сагсан бөмбөгийн тамирчдын биеийн бүтэц нь анаэроб гүйцэтгэл, сэргэлтийн үзүүлэлтүүдтэй уялдаатай байсан бөгөөд биеийн өөхний хувь, төвийн өөхлөлт ихсэх нь анаэроб хүчин чадал буурах хандлагатай байв.
2. Булчингийн массыг хадгалсан нөхцөлд өөхлөлтийг бууруулах нь анаэроб гүйцэтгэлд сөрөг нөлөө үзүүлэхгүй бөгөөд гүйцэтгэл, ачаалал даах болон сэргэлтийн зохицуулалтыг сайжруулах боломжийг харуулна.
3. Биеийн бүтэц болон анаэроб хүчин чадлын үзүүлэлтүүдэд суурилсан Random Forest Regression загвар нь гүйцэтгэлийн бууралтын болон гэмтлийн эрсдэлийг өндөр нарийвчлалтай таамаглах чадвартай болохыг нотлов.

Ном зүй:

1. *Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training.* J Appl Physiol. *2002;93(4):1318-1326. doi:10.1152/japplphysiol.00283.2002*
2. *Bahr R, Krosshaug T. Understanding injury mechanisms: A key component of preventing injuries in sport.* Br J Sports Med. *2005;39(6):324-329. doi:10.1136/bjsm.2005.018341*
3. *Barrea L, Muscogiuri G, Macchia PE, Di Somma C, Falco A, Savanelli MC, et al. Phase angle as an easy diagnostic tool for the assessment of sarcopenia and metabolic health.* Nutrition. *2019;61:9-15. doi:10.1016/j.nut.2018.09.020*
4. *Ben Abdelkrim N, Castagna C, Jabri I, Battikh T, El Fazaa S, El Ati J. Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players.* J Strength Cond Res. *2010;24(4):1033-1041. doi:10.1519/JSC.0b013e3181cb2470*
5. *Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, Lakomy HK. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise.* J Appl Physiol. *1996;80(3):876-884. doi:10.1152/jappl.1996.80.3.876*
6. *Buchheit M, Laursen PB. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle.* Sports Med. *2013;43(5):313-338. doi:10.1007/s40279-013-0029-x*
7. *Campillo P, Lebreton F, Morin JB, Samozino P. Bioelectrical impedance vector analysis and phase angle in professional basketball players.* Int J Sports Physiol Perform. *2021;16(3):345-352. doi:10.1123/ijspp.2019-0821*
8. *Frayn KN.* Metabolic Regulation: A Human Perspective. *3rd ed. Wiley-Blackwell; 2010.*
9. *Goodpaster BH, Kelley DE, Thaete FL, He J, Ross R. Skeletal muscle attenuation determined by computed tomography is associated with skeletal muscle lipid content.* J Appl Physiol. *2001;90(1):215-221. doi:10.1152/jappl.2001.90.1.215*
10. *Hoffman JR, Ratamess NA, Neese KL, Ross RE, Faigenbaum AD, Kang J, et al. Physical performance characteristics in NCAA Division I collegiate football players.* J Strength Cond Res. *2006;20(4):844-850.*
11. *Issurin VB. New horizons for the methodology and physiology of training periodization.* Sports Med. *2010;40(3):189-206.*
12. *Kraemer WJ, Ratamess NA, Fry AC, Triplett-McBride T, Koziris LP, Bauer JA, et al. Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations.* J Strength Cond Res. *2004;18(2):377-385.*
13. *McBride JM, Nimphius S, Erickson TM. The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance.* J Strength Cond Res. *2009;23(2):349-357. doi:10.1519/JSC.0b013e318196b754*
14. *Micheli ML, Pagani L, Marella M, Gulisano M, Piccolella F, Angelini F, et al. Bioimpedance and impedance vector patterns as predictors of league level in male soccer players.* Int J Sports Physiol Perform. *2014;9(3):532-539. doi:10.1123/ijspp.2013-0245*
15. *Nikolaidis PT, Ziv G, Lidor R, Arnon M. Inter-individual variability in response to training in youth athletes.* J Sports Sci Med. *2012;11(3):371-379.*
16. *Nikolaidis PT, Asadi A, Santos EJA, Calleja-González J, Padulo J, Chtourou H, et al. Relationship of body mass status with running and jumping performance in elite basketball players.* Sports. *2015;3(1):1-12. doi:10.3390/sports3010001*
17. *Norman K, Stobäus N, Pirlich M, Bosy-Westphal A. Bioelectrical phase angle and impedance vector analysis—clinical relevance and applicability.* Clin Nutr. *2012;31(6):854-861. doi:10.1016/j.clnu.2012.05.008*
18. *Ostojic SM, Mazic S, Dikic N. Profiling in basketball: Physical and physiological characteristics of elite players.* J Strength Cond Res. *2006;20(4):740-744.*
19. *Silva AM, Fields DA, Heymsfield SB, Sardinha LB. Body composition and power changes in elite athletes.* Eur J Clin Nutr. *2013;67(9):897-904. doi:10.1038/ejcn.2013.100*
20. *Timmins RG, Bourne MN, Shield AJ, Williams MD, Lorenzen C, Opar DA. Short biceps femoris fascicles and eccentric knee flexor weakness increase the risk of hamstring injury.* Br J Sports Med. *2016;50(24):1524-1535. doi:10.1136/bjsports-2015-095362.2013.100*

Using Machine Learning Models to Assess Performance, Physiological Indicators, and Injury Risk in Professional Basketball Players.

Jadamba M[1], Khaliun M[1], Sarangerel D[1], Usukhbayar C[1], Tsetsegdolgor D[1], Burenjargal B[1], Odbayasgalan O[4], Baasanjargal B[1], Ganzorig B[2], Otgon G[1], Munkhsoyol E[1]

[1]Department of Physiology, School of Biomedical Sciences, MNUMS
[2]Sports Medicine Research Center
[3]Omni Erdenet Miners Basketball Club
[4]Mongolian University of Science and Technology
E-mail: jadamba.m@mnums.edu.mn, Tel: +976-99559403

Abstract:

Background: Basketball involves repeated high-intensity, explosive movements that depend largely on anaerobic energy systems. Accordingly, anaerobic capacity and body-composition parameters such as skeletal muscle mass and fat distribution are key determinants of performance. However, data-driven studies integrating conditioning training, anaerobic performance, and body composition in Mongolian professional players are limited, and the application of machine-learning approaches in this context remains underexplored.

Aim: To examine the relationships between conditioning training, anaerobic capacity, and body composition in professional basketball players and to develop a machine-learning model for injury-risk prediction.

Materials and Methods: Eleven healthy professional male basketball players (21–28 years) from the Omni Erdenet Miners were evaluated. Body composition was measured using the InBody 970, and anaerobic performance was assessed by a 30-s Wingate test on a Monark 894E ergometer. Measurements were obtained at three time points. Changes were analyzed using Friedman and Wilcoxon tests, while associations were examined by Pearson correlation and multivariate regression. Injury-risk models were developed using Random Forest and regression-based machine-learning methods. Research Ethics Committee, approval number 24-25/04-01

Results: Phase angle increased from 6.8±0.5 to 7.3±0.6° ($p = 0.021$), and body-fat percentage decreased from 20.5±3.2% to 16.2±2.0% ($p = 0.015$), with no change in skeletal muscle mass. Visceral fat decreased and anaerobic peak and mean power improved ($p < 0.05$). Fat percentage was negatively correlated with anaerobic performance. Heart-rate recovery improved, indicating enhanced exercise tolerance. Random Forest identified phase angle, visceral fat, fat percentage, and fatigue index as the strongest predictors of injury risk.

Conclusions:

1. The body composition of professional basketball players was closely associated with anaerobic performance and recovery indices, with higher body fat percentage and central adiposity tending to be linked to reduced anaerobic capacity.
2. Reducing fat mass while preserving muscle mass did not adversely affect anaerobic performance and demonstrated potential improvements in performance efficiency, load tolerance, and recovery regulation.
3. A Random Forest Regression model based on body composition and anaerobic capacity indicators demonstrated a high level of accuracy in predicting performance decline and injury risk.

Keywords: Conditioning training, Anaerobic capacity, Body composition, Training load