

Document downloaded from:

<http://hdl.handle.net/10251/67893>

This paper must be cited as:

Llorens Rodríguez, R.; Colomer Font, C.; Alcañiz Raya, ML.; Noé Sebastián, E. (2013). BioTrak: análisis de efectividad y satisfacción de un sistema de realidad virtual para la rehabilitación del equilibrio en pacientes con daño cerebral. *Neurología*. 28(5):1-8. doi:10.1016/j.nrl.2012.04.016.



The final publication is available at

<https://dx.doi.org/10.1016/j.nrl.2012.04.016>

Copyright Elsevier

Additional Information

“BioTrak: Análisis de efectividad y satisfacción de un sistema de realidad virtual para la rehabilitación del equilibrio en pacientes con daño cerebral”

R. Lloréns¹, C. Colomer-Font², M. Alcañiz^{1,3}, Enrique Noé-Sebastián³

¹ Instituto Interuniversitario de Investigación en Bioingeniería y Tecnología Orientada al Ser Humano, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España

³ Servicio de Neurorrehabilitación del Hospital NISA Valencia al Mar y NISA Sevilla Aljarafe. Fundación Hospitales NISA.

² Ciber, Fisiopatología Obesidad y Nutrición, CB06/03 Instituto de Salud Carlos III, Av. Sos Baynat s/n, Universitat de Jaume I, 12071 Castellón, España

Dirección de correo y solicitud de separatas:

Dr. Enrique Noé

Servicio de Neurorrehabilitación

Hospital NISA Valencia al Mar y Sevilla Aljarafe

C/ Río Tajo s/n

46001 Valencia (España)

Tfno.: 96-3352500

Mail: enoe@comv.es

Financiación: Este estudio fue financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (proyecto TEREHA, IDI-20110844), y parcialmente financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia de España, proyecto Game Teen (TIN2010-20187), proyectos Consolider-C (SEJ2006-14301/PSIC), “CIBER de Fisiopatología de la

Obesidad y Nutrición, una iniciativa del ISCIII”, el Programa de Excelencia PROMETEO (Generalitat Valenciana. Consellería de Educación, 2008-157).

Conflicto de intereses: No existe

INTRODUCCIÓN

1
2
3 La gestión del equilibrio requiere del procesamiento simultáneo y continuo de las
4 aportaciones de múltiples sistemas, incluyendo la información sensorial (visual, vestibular
5 y propioceptiva), la integración cognitiva (atención y funciones ejecutivas
6 fundamentalmente), la función del cerebelo y obviamente la retroalimentación del sistema
7 sensitivo-motor ¹. Este complejo mecanismo hace que la inestabilidad postural sea un
8 signo común en pacientes que han sufrido un daño cerebral adquirido (DCA), ya que a esta
9 patología se asocian con frecuencia disfunciones que afectan al sistema nervioso central y
10 periférico, a los órganos perceptivos y/o al sistema musculoesquelético, entre otros ².
11 Además de ser un problema de alta prevalencia, las alteraciones del equilibrio y del control
12 postural son una causa frecuente de caídas y un factor limitante de autonomía e
13 independencia en las actividades de la vida diaria (AVD) ^{3,4}, por lo que su recuperación es
14 uno de los objetivos prioritarios en la rehabilitación motora de los pacientes DCA.
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32

33 Los conocimientos actuales sobre las capacidades plásticas de nuestro cerebro, en
34 condiciones de salud y enfermedad, han revolucionado en estos últimos años la forma de
35 afrontar la recuperación de los déficits resultantes tras un DCA. Hoy en día, existe un
36 acuerdo unánime en aceptar que la recuperación -y no sólo la recuperación motora- tras
37 una lesión cerebral, se alcanza más eficazmente a través de una intervención temprana,
38 intensiva y orientada a la tarea que se desea recuperar ⁵. Además, sabemos que los
39 resultados son aún más beneficiosos, en términos de funcionalidad, si a este entrenamiento
40 se le enriquece con un feedback sensorial específico ⁶. Este enfoque tan simple y a la vez
41 tan revolucionario ha sido rápidamente asimilado por las nuevas tecnologías,
42 especialmente por aquellos sistemas que permiten generar programas de rehabilitación
43 fieles a los principios de plasticidad cerebral (repetición y especificidad en un entorno
44 ecológico, rico y motivante). Los sistemas de realidad virtual son un buen ejemplo de ello,
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

por lo que han comenzado a expandirse dentro del ámbito de la neurorrehabilitación ofreciendo resultados claramente beneficiosos ⁷⁻¹⁰.

En las últimas décadas ha habido un creciente interés en el desarrollo de sistemas de rehabilitación virtual motora aplicados a diferentes patologías de origen cerebral. Existen numerosos estudios sobre sistemas virtuales diseñados específicamente para la rehabilitación de la extremidad superior ^{11, 12}, siendo menos frecuentes los que demuestren la eficacia clínica de estos programas en la rehabilitación de otras funciones como el equilibrio o la marcha en pacientes hemiparéticos ¹³⁻¹⁵.

En el ámbito de la rehabilitación virtual del control postural y del equilibrio se han desarrollado diversos programas que recrean entornos virtuales mediante gráficos bidimensionales ¹⁶ y tridimensionales ^{17, 18}, empleando para ello diversos dispositivos: sistemas hápticos ¹⁹, dispositivos integrales de cabeza ²⁰ y los sistemas CAVE ²¹, entre otros. Más recientemente otras líneas de trabajo, en las que nuestro grupo de trabajo ha participado, han optado por dotar de contenidos clínicos a herramientas que emplean el control postural como actividad lúdica haciendo uso de videoconsolas comerciales ^{22, 23}. Pese a la diversidad de dispositivos desarrollados, las dificultades de instalación en los entornos clínicos, la repercusión en términos de seguridad para el paciente que conlleva el entrenamiento de una función como el control postural o las dificultades de usabilidad específicas al entrenamiento del equilibrio, son algunas de las razones por las la mayoría de servicios de neurorrehabilitación siguen optando por el entrenamiento convencional o como mucho por el uso de programas de rehabilitación acoplados a sistemas posturográficos²⁴⁻²⁶.

Desde el punto de vista terapéutico, existe todavía una gran necesidad de sistemas de rehabilitación virtual que puedan instalarse fácilmente en el entorno clínico y que cuenten

1 con la suficiente flexibilidad y especificidad de contenidos para abarcar los diferentes
2 estadios clínicos de las patologías subyacentes al DCA. BioTrak es un sistema de RV
3
4 compuesto por tres módulos específicamente diseñados para la rehabilitación motora,
5
6 cognitiva y psicosocial de pacientes con lesiones neurológicas diversas. En el módulo de
7
8 rehabilitación motora del equilibrio, BioTrak ofrece dos enfoques terapéuticos distintos
9
10 incluyendo alcances dinámicos y transferencias de peso sobre una plataforma de presiones.
11
12 Concretamente, este estudio describe los datos de eficacia y satisfacción de los ejercicios
13
14 de equilibrio en bipedestación mediante alcances en pacientes con daño cerebral adquirido
15
16 (DCA).
17
18
19
20
21

22 **MATERIAL Y MÉTODOS**

23 Participantes:

24
25 Un total de 120 pacientes con daño cerebral adquirido (DCA) evaluados entre enero
26
27 y julio del 2011 en un servicio especializado en el tratamiento de esta patología fueron
28
29 candidatos a participar en este estudio según los criterios expuestos a continuación. Todos
30
31 los pacientes incluidos debían presentar una hemiparesia debido a un DCA, encontrarse
32
33 estables clínicamente, haber transcurrido un mínimo de 6 meses desde la lesión inicial,
34
35 presentar un adecuado nivel cognitivo (puntuación en el Mini Mental State Examination \geq
36
37 24)²⁷, un grado de espasticidad menor de 3 según la Asworth Scale²⁸ y ser capaces de
38
39 realizar transferencias dinámicas en bipedestación, tal y como se especifica en la Brunel
40
41 Balance Assessment (BBA) (sección 3, nivel 9)²⁹. Como criterios de exclusión se
42
43 determinó la presencia de: a) síndrome de negligencia unilateral, b) ataxia y/u otros
44
45 síntomas cerebelosos, c) problemas visuales severos que dificultase la interacción con el
46
47 sistema y d) déficit de comprensión que interfiriese en la correcta ejecución de los
48
49 ejercicios. Las características socio-demográficas y clínicas de la muestra se detallan en la
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

Protocolo experimental

a) Dispositivo

El dispositivo está formado por un ordenador de sobremesa, una pantalla panorámica de 47" y un sistema de tracking o seguimiento (óptico, electromagnético o mediante sensores de profundidad, como el que utiliza el dispositivo Kinect™ [21]) que permite la interacción del usuario con el entorno virtual. El sistema seguimiento óptico, que fue el aquí empleado, consta de tres cámaras que detectan la posición del usuario a través de unas marcas reflectantes colocadas en partes específicas de su cuerpo (tobillos, muñecas, hombros o cabeza en función de la tarea a realizar), y la transfieren al escenario virtual. Además, BioTrak cuenta con un módulo de gestión de pacientes que permite al terapeuta registrar nuevos usuarios, configurar sesiones de trabajo específicas para cada uno de ellos, y comprobar su evolución a través de los resultados obtenidos.

El módulo de rehabilitación del equilibrio mediante alcances de BioTrak sumerge al paciente en un escenario virtual 3D donde debe realizar una serie de movimientos para alcanzar los ítems que van apareciendo a su alrededor. El ejercicio usa una vista en tercera persona, lo que permite al usuario identificar de forma precisa su posición y los movimientos que está realizando. Con el fin de facilitar la comprensión de la tarea y la sensación de presencia en el mundo virtual, el entorno y el avatar son simples y fáciles de seguir incluso por pacientes que puedan presentar problemas cognitivos subyacentes. Este módulo está formado por diferentes ejercicios de dificultad creciente que se pueden llevar a cabo en dos posiciones: sedestación (Ver figuras 1, 2, 3) y bipedestación (Ver figura 4). Los ejercicios de sedestación se emplean para el entrenamiento del control cefálico y de tronco, mientras que los de bipedestación mejoran el equilibrio estático y dinámico, así como el control postural y las transferencias. Todos los ejercicios, están diseñados

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

siguiendo los principios de aprendizaje motor: son repetitivos, intensivos, motivadores, graduables en dificultad y orientados a una tarea específica.

El software del sistema permite que las sesiones de entrenamiento puedan definirse de forma específica para cada usuario seleccionando diferentes ejercicios y configurando su duración, así como el tiempo de descanso y el número de repeticiones. Asimismo, la dificultad de cada uno de los ejercicios puede graduarse a través de una serie de parámetros como son la distancia a la que aparecen los ítems, el tiempo que permanecen visibles, su tamaño, su localización espacial respecto al sujeto, así como el número de ítems simultáneos que aparecen en el entorno. Para facilitar y agilizar la tarea diaria el terapeuta puede, en caso necesario, hacer uso de una serie de niveles de dificultad predefinidos por el sistema y autogestionable.

b) Protocolo de Intervención

Todos los pacientes incluidos en el presente estudio recibieron entre tres y cinco sesiones semanales de una hora de duración en las que combinaban fisioterapia convencional y entrenamiento con BioTrak. El protocolo de tratamiento con BioTrak consistió en un total de 20 sesiones de 20 minutos de duración. Cada una de las sesiones constaba de tres ejercicios de seis minutos más dos minutos de descanso intercalados.

Las sesiones se realizaron en una parte acondicionada del gimnasio bajo la supervisión del fisioterapeuta responsable. El primer día de tratamiento, todos los pacientes incluidos recibieron una explicación sobre la dinámica de los ejercicios, visualizaron una demostración de los mismos y realizaron una sesión de entrenamiento para familiarizarse con el uso del dispositivo. En la sesión inicial, los participantes comenzaron en el nivel más básico de dificultad que permitía el sistema y a partir de las siguientes sesiones se aumentó el nivel de dificultad en función de los resultados obtenidos, bien por el terapeuta

o bien por el propio sistema, que aumenta de manera automática el nivel de dificultad cada vez que el paciente consigue finalizar el ejercicio con un porcentaje de errores $\leq 2\%$.

c) Protocolo de valoración

Todos los pacientes fueron valorados con el protocolo de valoración expuesto a continuación en el momento inicial (V_i), al finalizar el programa con BioTrak (V_f) y un mes después de haber finalizado el mismo (V_f+1m), período durante el cual los pacientes continuaron tratamiento con fisioterapia convencional.

El protocolo de evaluación para el módulo de equilibrio en bipedestación mediante alcances de BioTrak incluía como escalas clínicas la Berg Balance Scale (BBS)³⁰ y el Tinetti Performance-Oriented Mobility Assessment (POMA)³¹, que valoran el equilibrio estático y dinámico mientras se realizan diversos movimientos funcionales. Así mismo, todos los pacientes fueron evaluados mediante la plataforma dinamométrica NEDSVE/IBV³². Esta aplicación combina pruebas de valoración de posturografía estática con pruebas dinámicas, proporcionando un índice global sobre la valoración del equilibrio de un paciente. El equipo de medida utilizado, es una plataforma dinamométrica con cuatro captadores extensométricos, que permite analizar las fuerzas de acción-reacción que se ejercen sobre ella, transformándolas en señales eléctricas. El sistema permite cuantificar los límites de estabilidad del paciente y ofrece tres índices sensoriales (visual, propioceptivo y vestibular) que aportan información de la implicación de cada uno de estos sistemas en el equilibrio del sujeto. Además la posturografía registra una variable correspondiente al desplazamiento rítmico del peso, que cuantifica la habilidad del paciente para desplazar su centro de gravedad lateralmente (control medio-lateral) y de delante a atrás (control antero-posterior). Todos los índices del sistema se muestran en porcentaje (%), de forma que resultados distintos al 100% reflejan discrepancias respecto a los valores de normalidad obtenidos por un grupo normativo ajustado a la edad y altura del

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

paciente. De acuerdo con las especificaciones del sistema, se permite una discrepancia del 5% respecto a los valores del grupo normativo como valor límite de la normalidad para los índices sensoriales y del 15% para los límites de estabilidad y el control rítmico y direccional, de forma que cuanto menor sea el valor de los distintos índices obtenidos mayor será el grado de afectación. En todos los casos el estudio del equilibrio se realizó sin ningún tipo de ayuda.

Para comprobar las respuestas subjetivas de los pacientes a la experiencia virtual, todos los pacientes completaron al finalizar el protocolo de tratamiento un cuestionario de usabilidad compuesto por ocho preguntas con un rango de puntuación de 1-5. Dicho cuestionario fue elaborado “ad-hoc” siguiendo el modelo del Short Feedback Questionnaire (SFQ) ³³ y adaptado a las características del sistema. Las primeras seis preguntas del cuestionario hacían referencia al grado de diversión, a la sensación de sentirse parte del entorno (presencia), a la percepción del entorno como real (inmersión), a la percepción del éxito (feedback) y del control de la situación y a la comprensión global del feedback generado por el sistema. La séptima pregunta exploraba el grado de confort durante la experiencia virtual así como los posibles efectos adversos (mareo, desorientación, molestias oculares, etc.). La octava pregunta analizaba la percepción de dificultad durante la ejecución de la tarea así como con el manejo del hardware. Las puntuaciones de cada pregunta se ajustaron de manera que a mayor puntuación total mayor grado de usabilidad del sistema y menores efectos adversos.

Análisis estadístico

Se empleó estadística descriptiva (medias \pm DE) para las variables cuantitativas y descriptivos de frecuencia para las medidas cualitativas. Para comprobar si existían diferencias significativas en las variables a estudio en los tres momentos de valoración (Vi, Vf y Vf+1) se empleó un ANOVA de medidas repetidas (efecto tiempo) con un análisis

1 post-hoc (Bonferroni) para las comparaciones en los tres momentos. Todos los análisis
2 estadísticos se llevaron a cabo empleando el programa SPSS para Mac, versión 15 (SPSS
3
4
5 Inc., Chicago, USA).
6

7 **RESULTADOS**

8 *Análisis longitudinal*

9
10 En la tabla II se muestran las medias y las desviaciones estándar de las escalas
11 motoras (BBS y POMA) y de los parámetros extraídos de la posturografía dinámica
12 correspondientes a la valoración inicial (Vi), a la valoración final (Vf) y a la valoración
13 realizada al mes de concluir el protocolo (Vf+1). Una ANOVA de medidas repetidas
14 analizando el efecto tiempo mostró una mejora significativa de las puntuaciones para la
15 BBS ($p<0.01$), y la POMA ($p<0.01$). Así mismo, en los parámetros extraídos del análisis
16 posturográfico se observaron mejoras significativas en el índice vestibular ($p<0.05$), en el
17 control antero-posterior ($p<0.05$) y una tendencia a la significación en el control medio-
18 lateral ($p=0.059$). El análisis post-hoc reveló mejoras significativas entre la Vi y la Vf en la
19 BBS, la POMA y en control antero-posterior, que se mantuvieron al mes de completar el
20 protocolo con BioTrak. No se observaron mejoras estadísticamente significativas en
21 ninguna de las variables a estudio al comparar las puntuaciones obtenidas entre la Vf y la
22 Vf+1.
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44

45 Clínicamente, tres de los cuatro pacientes que al inicio del tratamiento precisaban
46 una ayuda técnica (bastón cuadrúpode) para marcha segura por interiores consiguieron
47 marcha sin ayudas.
48
49
50

51 *Usabilidad*

52 De acuerdo a las puntuaciones obtenidas en el cuestionario de usabilidad, los
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 de presencia durante la experiencia virtual (4.1 ± 0.8), y percibieron el entorno como realista
2 (3.7 \pm 1.1). Así mismo, los participantes mostraron una adecuada comprensión del feedback
3
4 aportado por el sistema (4.4 ± 0.9), y un buen control de la situación (3.63 ± 0.84). En
5
6 general, describieron su ejecución como exitosa (3.7 ± 0.8), y no percibieron grandes
7
8 dificultades para llevar a cabo la tarea (3.5 ± 1) o en el uso del dispositivo (4 ± 1). Ninguno
9
10 de los participantes describió efectos adversos (molestias en los ojos, mareos, náuseas, etc.)
11
12 durante la realización de la tarea virtual.
13
14
15
16

17 **DISCUSIÓN**

18
19 De acuerdo a nuestros resultados, BioTrak es una herramienta eficaz y de adecuada
20
21 usabilidad en la rehabilitación del equilibrio en pacientes con DCA. La utilidad clínica del
22
23 sistema está avalada por la mejoría que los pacientes incluidos en el módulo de
24
25 rehabilitación del equilibrio mediante alcances mostraron en las escalas motoras a estudio.
26
27 Así mismo, el estudio posturográfico mostró mejoras en los mecanismos dinámicos de
28
29 control postural así como en el componente vestibular encargado de mantener el equilibrio.
30
31 Además, manteniendo un programa de rehabilitación tradicional, las mejorías observadas
32
33 al finalizar el tratamiento parecen perdurar en el tiempo.
34
35
36
37
38
39
40

41 Las alteraciones del equilibrio y del control postural son uno de los déficits más
42
43 comunes y más limitantes funcionalmente tras un DCA ³⁴. Característicamente, estos
44
45 problemas pueden persistir durante años y alterar significativamente la calidad de vida del
46
47 paciente ⁴. Aunque en estos últimos años empezamos a disponer de diferentes programas
48
49 de RV centrados en la recuperación de habilidades motoras perdidas tras una lesión
50
51 cerebral, hasta la fecha existen escasos estudios que hayan demostrado la efectividad de
52
53 estos programas en la rehabilitación del equilibrio ^{13-15, 17}. Además, los resultados
54
55 obtenidos por estos sistemas son difícilmente generalizables debido al pequeño tamaño de
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 las muestras o a limitaciones del diseño experimental de los estudios. De la misma
2 manera, los resultados expuestos en este estudio deben tenerse en cuenta considerando las
3 características específicas de nuestra muestra y al hecho de la ausencia de un grupo
4 control. Aun así, las mejoras experimentadas tras el tratamiento con BioTrak y la
5 estabilización de esas puntuaciones un mes después de concluir el mismo confirman la
6 ventaja del entrenamiento con este tipo de sistemas. La relevancia clínica de estos
7 resultados es aún mayor si tenemos en cuenta la cronicidad de nuestra muestra. De hecho,
8 la mejoría media obtenida tanto en la BBS como en la POMA son ligeramente inferiores a
9 los cambios mínimos detectables publicados para estas escalas en poblaciones con
10 patología neurológica en fase más aguda o en muestras de sujetos sanos ³⁵⁻³⁷.

25 En consonancia con la mejoría clínica, el entrenamiento con BioTrak también
26 mostró una clara mejoría en las puntuaciones obtenidas a través del análisis posturográfico.
27 El análisis inicial mostró el patrón clásico descrito en pacientes hemiparéticos con una
28 clara reducción de los límites de estabilidad de predominio en el hemicuerpo parético, una
29 reducción de la información proporcionada por las aferencias vestibulares a expensas de un
30 creciente peso sobre las aferencias visuales así como una reducción global en las pruebas
31 de control rítmico y direccional ^{38, 39}. Característicamente, BioTrak fue capaz de mejorar el
32 índice vestibular y las pruebas de control rítmico, alcanzando estas últimas el rango
33 inferior de la normalidad. La ausencia de mejoría detectable en los límites de estabilidad
34 podría estar relacionada con la especificidad de la tarea entrenada y su semejanza con los
35 ejercicios de control rítmico frente a los ejercicios de desplazamiento de peso sin alcances.
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

53 El sustrato neurofisiológico que sustenta la mejoría clínica observada con algunas
54 de estas intervenciones y en concreto, los cambios plásticos que estos programas potencian
55 en el cerebro de pacientes que han sufrido una lesión adquirida, apenas han sido
56 estudiados. Recientemente se ha reportado una reorganización del córtex sensitivo-motor
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1 en sintonía con la mejoría clínica observada en la muestra sometida a estudio tras un
2 programa de rehabilitación virtual motora en pacientes con ictus ⁴⁰ . Las recientes
3 investigaciones sobre la recuperación motora en lesiones cerebrales, coinciden en señalar
4 la importancia de una serie de principios básicos de aprendizaje que garanticen la máxima
5 eficacia terapéutica de cualquier técnica ⁵. BioTrak cumple con estos principios básicos de
6 aprendizaje motor, permitiendo una intervención temprana, intensiva y personalizable.
7 Dado que numerosos estudios señalan la ventaja funcional de un entrenamiento motor
8 orientado a la tarea específica ^{41, 42}, en la actualidad se está dotando al sistema BioTrak de
9 un entorno ecológico, donde el paciente realice tareas semejantes a las que se enfrenta en
10 su día a día, favoreciendo la generalización de las ganancias a sus actividades cotidianas.
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

25 BioTrak combina los beneficios de otros sistemas de entrenamiento del equilibrio
26 basados en el uso de nuevas tecnologías, como los sistemas de posturografía con feedback
27 ⁴³ o el empleo de estrategias basadas en entornos virtuales aplicados a videoconsolas como
28 la Wii Balance Board, entre otros ^{22, 23}. BioTrak presenta como ventajas añadidas su
29 versatilidad y la especificidad de su diseño y contenido. En este sentido, BioTrak abarca el
30 espectro completo de la rehabilitación del equilibrio, desde las fases iniciales de
31 recuperación, donde se trabaja el control cefálico y de tronco en sedestación, hasta fases
32 más avanzadas donde se entrena el equilibrio dinámico en bipedestación incluyendo el
33 manejo de varios ítems simultáneos. BioTrak permite al terapeuta planificar sesiones
34 personalizadas para cada paciente (nivel de intensidad y dificultad, tipo de tarea, tiempo de
35 descanso y de trabajo, etc.), ajustando el programa terapéutico a sus necesidades y
36 capacidades en cada una de las fases de la rehabilitación. Su diseño específico, a diferencia
37 del uso de sistemas de entretenimiento con software no clínico (videojuegos comerciales),
38 permite además una fácil interacción paciente-sistema-terapeuta. Como ventaja añadida, de
39 acuerdo a los resultados del estudio de usabilidad, BioTrak resulta una actividad altamente
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65

motivante. Ninguno de los sujetos de nuestro estudio refirió efectos adversos y todos coincidieron en señalar a BioTrak como una herramienta que fomenta la participación activa del sujeto en el proceso de recuperación. Además frente a otros sistemas más complejos BioTrak es una herramienta de bajo coste, fácilmente integrable en el cualquier entorno clínico, gracias a su versatilidad en el sistema de tracking, y con un nivel de presencia e inmersión comparable al de otros dispositivos mucho más invasivos.

Para futuras líneas de investigación sería recomendable ampliar el tamaño muestral así como incluir un grupo control que nos permita comprobar su eficacia comparándolo con un entrenamiento convencional. Clínicamente nuestros resultados aportan evidencia sobre los beneficios obtenidos por pacientes con problemas de equilibrio debidos a un DCA tras un entrenamiento intensivo de un mes de duración con BioTrak. Se trata de una herramienta robusta, de bajo coste y probada validez y utilidad clínica que cumple con los principios de aprendizaje motor y que abarca el espectro completo de rehabilitación del equilibrio en los pacientes con DCA.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ng SS. Contribution of subjective balance confidence on functional mobility in subjects with chronic stroke. *Disabil Rehabil.* 2011;
2. Perennou D, Decavel P, Manckoundia P, Penven Y, Mourey F, Launay F, et al. Evaluation of balance in neurologic and geriatric disorders. *Ann Readapt Med Phys.* 2005;48:317-35.
3. Schmid AA, Van Puymbroeck M, Knies K, Spangler-Morris C, Watts K, Damush T, et al. Fear of falling among people who have sustained a stroke: a 6-month longitudinal pilot study. *Am J Occup Ther.* 2011;65:125-32.
4. Tyson SF, Hanley M, Chillala J, Selley AB, and Tallis RC. The relationship between balance, disability, and recovery after stroke: predictive validity of the Brunel Balance Assessment. *Neurorehabil Neural Repair.* 2007;21:341-6.
5. Moucha R and Kilgard MP. Cortical plasticity and rehabilitation. *Prog Brain Res.* 2006;157:111-122.
6. Albiol S, Gil-Gomez JA, and Alcaniz M. Influence of tracking feedback in user motor response in rehabilitation therapy. *Stud Health Technol Inform.* 2011;154:34-8.
7. Burdea GC. Virtual rehabilitation--benefits and challenges. *Methods Inf Med.* 2003;42:519-23.

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
8. Holden MK. Virtual environments for motor rehabilitation: review. *Cyberpsychol Behav.* 2005;8:187-211; discussion 212-9.
9. Penasco-Martin B, de los Reyes-Guzman A, Gil-Agudo A, Bernal-Sahun A, Perez-Aguilar B, and de la Pena-Gonzalez AI. Application of virtual reality in the motor aspects of neurorehabilitation. *Rev Neurol.* 2010;51:481-8.
10. Sveistrup H. Motor rehabilitation using virtual reality. *J Neuroeng Rehabil.* 2004;1:10.
11. Cameirao MS, Badia SB, Oller ED, and Verschure PF. Neurorehabilitation using the virtual reality based Rehabilitation Gaming System: methodology, design, psychometrics, usability and validation. *J Neuroeng Rehabil.* 2010;7:48.
12. Holden MK, Dyar TA, and Dayan-Cimadoro L. Telerehabilitation using a virtual environment improves upper extremity function in patients with stroke. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 2007;15:36-42.
13. Bisson E, Contant B, Sveistrup H, and Lajoie Y. Functional balance and dual-task reaction times in older adults are improved by virtual reality and biofeedback training. *Cyberpsychol Behav.* 2007;10:16-23.
14. Nyberg L, Lundin-Olsson L, Sondell B, Backman A, Holmlund K, Eriksson S, et al. Using a virtual reality system to study balance and walking in a virtual outdoor environment: a pilot study. *Cyberpsychol Behav.* 2006;9:388-95.

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
15. Oddsson LI, Karlsson R, Konrad J, Ince S, Williams SR, and Zemkova E. A rehabilitation tool for functional balance using altered gravity and virtual reality. *J Neuroeng Rehabil.* 2007;4:25.
 16. Thornton M, Marshall S, McComas J, Finestone H, McCormick A, and Sveistrup H. Benefits of activity and virtual reality based balance exercise programmes for adults with traumatic brain injury: perceptions of participants and their caregivers. *Brain Inj.* 2005;19:989-1000.
 17. Kim JH, Jang SH, Kim CS, Jung JH, and You JH. Use of virtual reality to enhance balance and ambulation in chronic stroke: a double-blind, randomized controlled study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2009;88:693-701.
 18. Kizony R, Raz L, Katz N, Weingarden H, and Weiss PL. Video-capture virtual reality system for patients with paraplegic spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev.* 2005;42:595-608.
 19. Burdea GC, Lin MC, Ribarsky W, and Watson B. Special issue on haptics, virtual, and augmented reality. *IEEE Trans Vis Comput Graph.* 2005;11:611-3.
 20. Jaffe DL, Brown DA, Pierson-Carey CD, Buckley EL, and Lew HL. Stepping over obstacles to improve walking in individuals with poststroke hemiplegia. *J Rehabil Res Dev.* 2004;41:283-92.

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
21. Keshner EA and Kenyon RV. The influence of an immersive virtual environment on the segmental organization of postural stabilizing responses. *J Vestib Res.* 2000;10:207-19.
22. Gil-Gomez JA, Llorens R, Alcaniz M, and Colomer C. Effectiveness of a Wii balance board-based system (eBaViR) for balance rehabilitation: a pilot randomized clinical trial in patients with acquired brain injury. *J Neuroeng Rehabil.* 2011;8:30.
23. Saposnik G, Teasell R, Mamdani M, Hall J, McIlroy W, Cheung D, et al. Effectiveness of virtual reality using Wii gaming technology in stroke rehabilitation: a pilot randomized clinical trial and proof of principle. *Stroke.* 2011;41:1477-84.
24. Barclay-Goddard R, Stevenson T, Poluha W, Moffatt ME, and Taback SP. Force platform feedback for standing balance training after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2004;CD004129.
25. de Haart M, Geurts AC, Dault MC, Nienhuis B, and Duysens J. Restoration of weight-shifting capacity in patients with postacute stroke: a rehabilitation cohort study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86:755-62.
26. Srivastava A, Taly AB, Gupta A, Kumar S, and Murali T. Post-stroke balance training: role of force platform with visual feedback technique. *J Neurol Sci.* 2009;287:89-93.

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
27. Blesa R, Pujol M, Aguilar M, Santacruz P, Bertran-Serra I, Hernandez G, et al. Clinical validity of the 'mini-mental state' for Spanish speaking communities. *Neuropsychologia*. 2001;39:1150-7.
28. Sloan RL, Sinclair E, Thompson J, Taylor S, and Pentland B. Inter-rater reliability of the modified Ashworth Scale for spasticity in hemiplegic patients. *Int J Rehabil Res*. 1992;15:158-61.
29. Tyson SF and DeSouza LH. Development of the Brunel Balance Assessment: a new measure of balance disability post stroke. *Clin Rehabil*. 2004;18:801-10.
30. Berg K, Wood-Dauphinee S, and Williams JI. The Balance Scale: reliability assessment with elderly residents and patients with an acute stroke. *Scand J Rehabil Med*. 1995;27:27-36.
31. Tinetti ME. Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *J Am Geriatr Soc*. 1986;34:119-26.
32. Baydal-Bertomeu JM, Viosca-Herrero E, and Ortuño-Cortes MA. Estudio de eficacia y fiabilidad de un sistema de posturografía en comparación con la escala Berg. *Rehabilitación*. 2010;44:304-10.
33. Witmer B and Singer M. Measuring presence in virtual environments: a presence questionnaire. *Presence*. 1998;7:

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
34. Tyson SF, Hanley M, Chillala J, Selley A, and Tallis RC. Balance disability after stroke. *Phys Ther.* 2006;86:30-8.
35. Donoghue D and Stokes EK. How much change is true change? The minimum detectable change of the Berg Balance Scale in elderly people. *J Rehabil Med.* 2009;41:343-6.
36. Faber MJ, Bosscher RJ, and van Wieringen PC. Clinimetric properties of the performance-oriented mobility assessment. *Phys Ther.* 2006;86:944-54.
37. Stevenson TJ. Detecting change in patients with stroke using the Berg Balance Scale. *Aust J Physiother.* 2001;47:29-38.
38. Basford JR, Chou LS, Kaufman KR, Brey RH, Walker A, Malec JF, et al. An assessment of gait and balance deficits after traumatic brain injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84:343-9.
39. Pickett TC, Radfar-Baublitz LS, McDonald SD, Walker WC, and Cifu DX. Objectively assessing balance deficits after TBI: Role of computerized posturography. *J Rehabil Res Dev.* 2007;44:983-90.
40. You SH, Jang SH, Kim YH, Hallett M, Ahn SH, Kwon YH, et al. Virtual reality-induced cortical reorganization and associated locomotor recovery in chronic stroke: an experimenter-blind randomized study. *Stroke.* 2005;36:1166-71.

- 1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
41. Weiss PL, Bialik P, and Kizony R. Virtual reality provides leisure time opportunities for young adults with physical and intellectual disabilities. *Cyberpsychol Behav.* 2003;6:335-42.
42. Weiss PL, Rand D, Katz N, and Kizony R. Video capture virtual reality as a flexible and effective rehabilitation tool. *J Neuroeng Rehabil.* 2004;1:12.
43. Rossi-Izquierdo M, Soto-Varela A, Santos-Perez S, Sesar-Ignacio A, Labella-Caballero T, Rossi-Izquierdo M, et al. Vestibular rehabilitation with computerised dynamic posturography in patients with Parkinson's disease: improving balance impairment. *Disabil Rehabil.* 2009;31:1907-16.

TABLA I: Características socio-demográficas de la muestra

Sexo	Varones n (%)	8 (80%)
	Mujeres n (%)	2 (20%)
Edad, años (media \pm DE)		41.6 \pm 15
Cronicidad, días (media \pm DE)		240.5 \pm 76.3
Etiología	Ictus n (%)	7 (70%)
	TCE n (%)	3 (30%)
Hemiparesia	Derecho n (%)	6 (60%)
	Izquierda n (%)	4 (40%)

TABLA II: Evolución (ANOVA de medidas repetidas con Bonferroni) de las variables clínicas y posturográficas al inicio (Vi), fin (Vf) y al mes de finalizar el entrenamiento con BioTrak (Vf+1m). Los datos son media \pm desviación estándar.

	Vi	Vf	Vf+1m	Significación
Berg Balance Scale	46.2 \pm 4.7	50.4 \pm 3.6	51.9 \pm 3.9	<0.01 (a*, b*)
Tinetti POMA	23.2 \pm 3.8	26.4 \pm 1.4	27.2 \pm 1.1	<0.01(a*, b*)
Límites de Estabilidad (NED/Sve)	79.3 \pm 10	81.2 \pm 9.4	80.5 \pm 9.4	NS
Control Medio-Lateral (NED/Sve)	84.9 \pm 14.2	90.80 \pm 8.8	91.5 \pm 8.5	=0.059
Control Antero-Posterior (NED/Sve)	81.1 \pm 10.8	87.50 \pm 7.2	88.6 \pm 0.1	<0.05 (a*,b*)
Índice Vestibular (NED/Sve)	50.2 \pm 44.4	79.9 \pm 29.9	79.4 \pm 30.4	<0.05 (a*, b*)
Índice Somático (NED/Sve)	96.0 \pm 3.5	97.6 \pm 2.2	97.7 \pm 2	NS
Índice Visual (NED/Sve)	97.8 \pm 2.2	97.7 \pm 2.75	97.8 \pm 2.2	NS

a: Vi<Vf, b: Vi<Vf+1m.*p< 0.05, ** p<0.01, NS: No significativo.

Vi: Valoración inicial

Vf: Valoración final

Vf+1: Valoración al mes de finalizar el tratamiento

Figura 1:ejercicio en sedestación con alcances mediante cabeza
[Click here to download high resolution image](#)

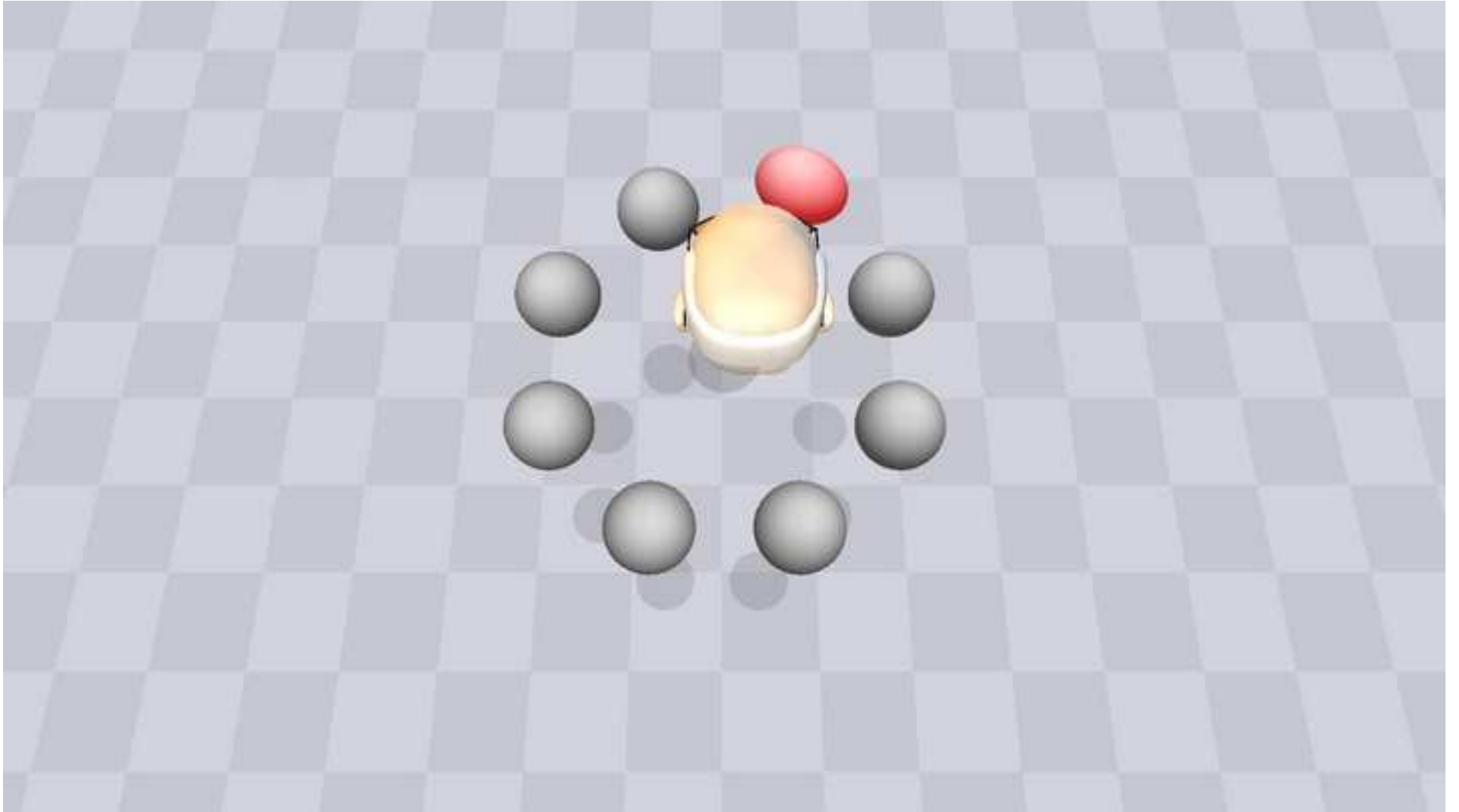


Figura 2:ejercicio en sedestación con alcances mediante hombros
[Click here to download high resolution image](#)

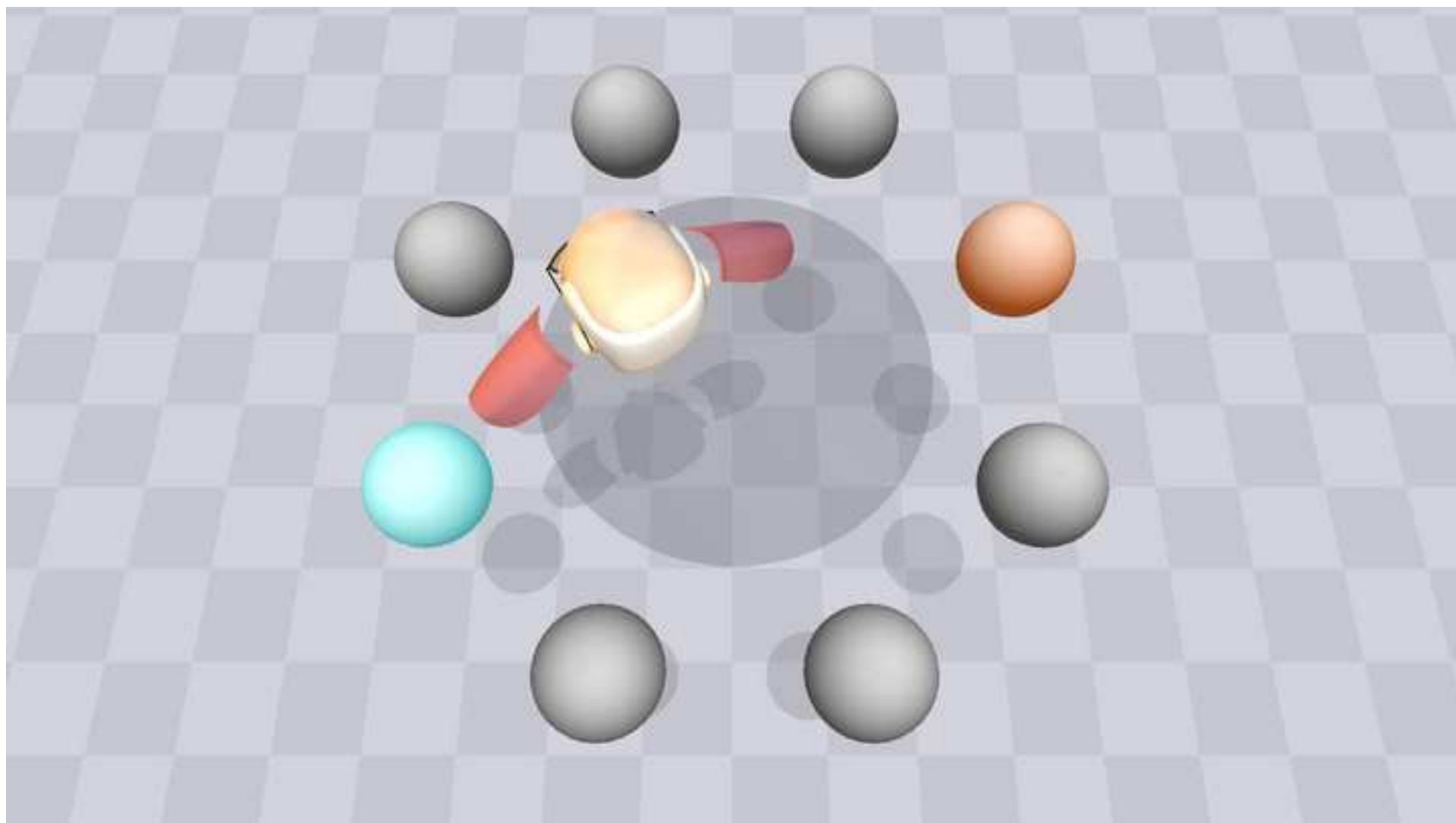


Figura 3:ejercicio en sedestación con alcances 3 mediante manos
[Click here to download high resolution image](#)

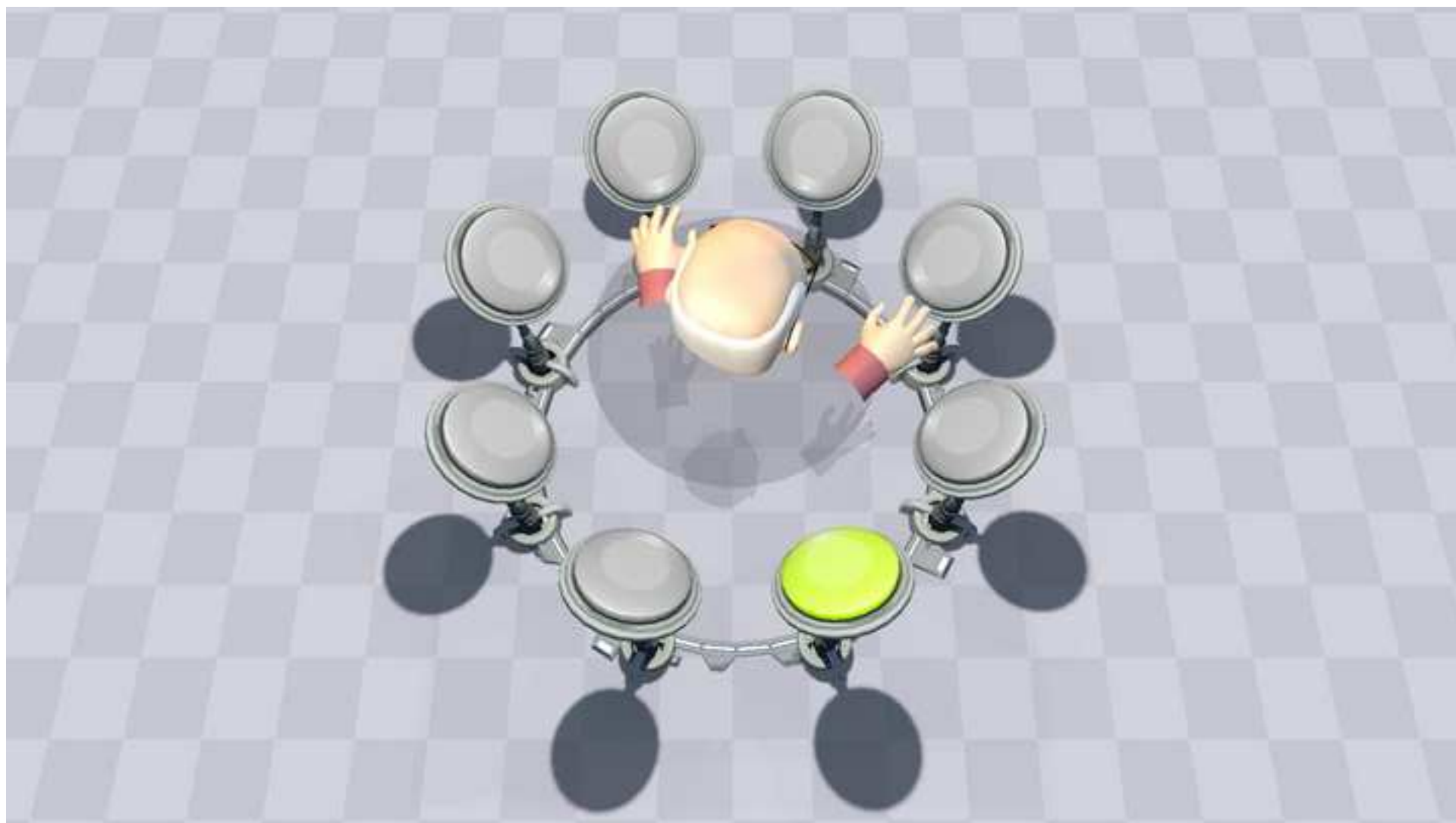


Figura 4:ejercicio en sedestación con alcances mediante pies
[Click here to download high resolution image](#)

